

**Simulação no campo próximo da dispersão de
efluentes oriundos de um emissário submarino**

Davi da Fonseca Tavares

Orientador: Dr. Rodrigo do Carmo Barletta

Co-orientador: Dr. Davide Franco

2010/1



**Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**SIMULAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO DA DISPERSÃO DE
EFLUENTES ORIUNDOS DE UM EMISSÁRIO SUBMARINO**

Davi da Fonseca Tavares

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Dr. Rodrigo do Carmo Barletta**

**Co-orientador
Dr. Davide Franco**

**FLORIANÓPOLIS – SC
JULHO/2010**

Tavares, Davi da Fonseca

Simulação no campo próximo da dispersão de efluentes oriundos de um emissário submarino.

Davi da Fonseca Tavares – Florianópolis, 2010.
x, 91f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –
Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental.

Título em inglês: Near field simulation of dispersion
effluent coming from an outfall system

1. Modelagem numérica. 2. Campo próximo. 3. Emissários
Submarinos.

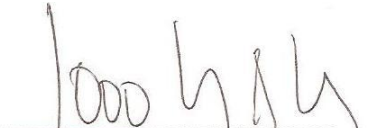
**CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**SIMULAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO DA DISPERSÃO DE
EFLUENTES ORIUNDOS DE UM EMISSÁRIO SUBMARINO**


DAVI DA FONSECA TAVARES

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental – TCC II**

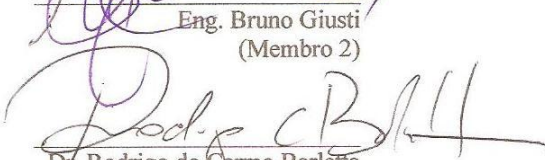
BANCA EXAMINADORA



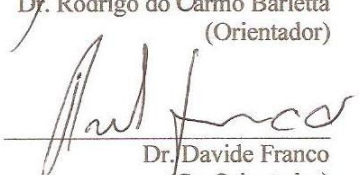
Dr. João Luiz Baptista de Carvalho
(Membro 1)



Eng. Bruno Giusti
(Membro 2)



Dr. Rodrigo do Carmo Barletta
(Orientador)



Dr. Davide Franco
(Co-Orientador)

**FLORIANÓPOLIS - SC
JULHO/2010**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo amor e apoio incondicional. E minhas irmãs que de longe estão sempre mandando energias positivas.

À Sarita, Ana, Mari, João e Lúcio. Minha família de Florianópolis, sem a qual não realizaria este e todos os outros trabalhos na UFSC.

Ao meu Orientador Barletta por toda dedicação, empenho e paciência comigo.

Ao meu Co-orientador Davide pela oportunidade de trabalhar com esse tema.

Ao meu chefe Márcio Frank por me dar coragem de seguir em frente.

A todos que me deram apoio, carinho e que lançaram desafios nessa minha caminhada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários	4
2.2 Dispersão dos esgotos sanitários no oceano	8
2.3 Modelagem numérica de plumas de dispersão dos esgotos sanitários no oceano	12
2.4 Modelagem numérica, no campo próximo, de plumas de dispersão dos esgotos sanitários no oceano	13
2.5 <i>Software Visual plumas</i>	15
2.5.1 <i>Modelo UM3</i>	20
2.5.2 <i>Modelo NRFIELD</i>	20
3 METODOLOGIA	24
3.1 Simulações hipotéticas com os modelos UM3 e NRFIELD	24
3.2 Combinação dos parâmetros para formação dos Casos hipotéticos	27
3.3 Resultados das simulações dos Casos hipotéticos a serem analisados.	30
3.4 Estudo de caso	31
3.4.1 <i>Área de estudo</i>	31
3.4.2 <i>Dados de entrada para simulação hipotética do emissário submarino de Maceió-AL</i>	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 Limitações	36
4.2 Resultados gerais das simulações hipotéticas com os modelos UM3 e NRFIELD	38
4.3 Resultados gerais do UM3 e NRFIELD considerando parâmetros variáveis	41
4.3.1 <i>Diâmetro da Pluma-UM3</i>	43
4.3.2 <i>Diâmetro da Pluma- NRFIELD</i>	48
4.3.3 <i>Diluição da Pluma-UM3</i>	53
4.3.4 <i>Diluição da Pluma- NRFIELD</i>	59
4.3.5 <i>Distância Horizontal da Fonte-UM3</i>	68
4.3.6 <i>Distância Horizontal da Fonte- NRFIELD</i>	71
4.4 Aplicação	79
5 CONCLUSÕES	82
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICE A	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Esquema geral de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários (adaptado de GONÇALVES & SOUZA, 1997).....	5
Figura 2.2- Chaminé de equilíbrio do emissário submarino de Maceió-AL. (fonte: Arquivo Pessoal).....	6
Figura 2.3- Assentamento da tubulação (em PEAD) do emissário submarino de Salvador-BA. (fonte: www.odebrechtonline.com.br - acesso a página em 05/10/2009).....	6
Figura 2.4- Tubulação difusora (fonte: http://www.tideflex.com - acesso a página em 25/10/2009).....	7
Figura 2.5- Analogia dos processos de dispersão que ocorrem numa chaminé e num emissário submarino. (fonte: GONÇALVES & SOUZA, 1997)	9
Figura 2.6- Fatores que influenciam a diluição no campo próximo.	10
Figura 2.7- Correntes e estratificação térmica do ambiente afetando a trajetória dos jatos do sistema difusor. (fonte: JIRKA ET AL., 1996).....	11
Figura 2.8- Zona de mistura do efluente em um emissário submarino (adaptado de GONÇALVES & SOUZA, 1997).....	12
Figura 2.9- Principais características do campo próximo (adaptado de Roberts, 1996).....	14
Figura 2.10- Campos para dados de entrada no <i>Visual plumes</i>	18
Figura 2.11- Exemplo de gráficos resultantes de uma simulação no <i>software Visual plumes</i>	19
Figura 2.12- Exemplo de texto resultante de uma simulação no <i>software Visual Plumes</i>	19
Figura 3.1- Esquema exemplificando como os parâmetros ambientais constantes e os parâmetros de características do emissário foram configurados do <i>Visual Plumes</i> . A vazão (0,154 m³/s) e a densidade da água do mar (1022 kg/m³) são constantes.	25
Figura 3.2- Esquema de como foram configurados no <i>Visual Plumes</i> os parâmetros: Direção da corrente e Orientação das Portas.....	26
Figura 3.3- Quantidade e variação dos parâmetros utilizados nas simulações	27
Figura 3.4- Fluxograma da variação dos sete parâmetros: Velocidade da Corrente, Direção da Corrente, Profundidade, Número de Portas, Espaçamento entre as Portas, Diâmetro das Portas e Orientação das Portas.....	28
Figura 3.5- Exemplo da formação do Caso 4.....	29
Figura 3.6- Esquema dos resultados obtidos em cada uma das 128 simulações	31
Figura 3.7- Emissário Submarino de Maceió-AL	32
Figura 3.8- Fotos da visita ao emissário submarino de Maceió-AL.....	33
Figura 3.9- Dados para simulação do estudo de caso do emissário de Maceió-AL ..	33
Figura 3.10- Estudo de caso, aba <i>Diffuser</i>	35
Figura 3.11- Estudo de caso, aba <i>Ambient</i>	35
Figura 4.1- Comparação dos resultados gerais do diâmetro da pluma fornecidos pelo UM3 e NRFIELD	39
Figura 4.2- Comparação dos resultados gerais do diâmetro da pluma fornecidos pelo UM3 e NRFIELD	40

Figura 4.3- Comparação dos resultados gerais da distância horizontal da fonte fornecidos pelo UM3 e NRFIELD.....	41
Figura 4.4- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	44
Figura 4.5- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	46
Figura 4.6- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	48
Figura 4.7- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	49
Figura 4.8- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	50
Figura 4.9- Resultado do Diâmetro da pluma variando Profundidade- NRFIELD...50	
Figura 4.10- Diâmetro da pluma para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.....	51
Figura 4.11- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência no diâmetro da pluma modelado pelo modelo UM3.	52
Figura 4.12- Parâmetros variáveis do emissário que influenciam no diâmetro da pluma simulada pelo modelo UM3.	53
Figura 4.13- Resultado da diluição da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	55
Figura 4.14- Resultado da diluição da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	57
Figura 4.15 - Resultado da diluição da pluma pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	58
Figura 4.16- Resultado da diluição da pluma pela variação da velocidade da corrente e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	60
Figura 4.17- Resultado da diluição da pluma pela variação da direção da corrente e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	62
Figura 4.18- Resultado da diluição da pluma pela variação da profundidade e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.....	63
Figura 4.19- Diluição da pluma para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.....	64
Figura 4.20- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo UM3.....	65
Figura 4.21- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo UM3.....	66
Figura 4.22- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo NRFIELD.	67
Figura 4.23- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo NRFIELD.	67
Figura 4.24- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.....	69
Figura 4.25- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.	70

Figura 4.26- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.....	71
Figura 4.27- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.....	73
Figura 4.28- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	74
Figura 4.29- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.	75
Figura 4.30- Distância horizontal da fonte para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.	76
Figura 4.31- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo UM3.....	77
Figura 4.32- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo UM3.....	77
Figura 4.33- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo NRFIELD.	78
Figura 4.34- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo NRFIELD	79
Figura 4.35-Resultados gráficos do estudo de caso de Maceió-AL	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Características gerais dos emissários mundiais	8
Tabela 2.2 Principais características de alguns emissários submarinos do Brasil (fonte: GONÇALVES & SOUZA, 1997, www.cetesb.sp.gov.br - acesso a página em 02/11/2009)	8
Tabela 3.1– Principais características do emissário de Maceió-AL.....	32
Tabela 4.1- Casos que o software <i>Visual Plumes</i> acusou erros de dados de entrada	36
Tabela 4.2-Casos em que o modelo UM3 acusou erros de dados de entrada	37
Tabela 4.3- Casos em que o modelo NRFIELD acusou erros de dados de entrada ..	37
Tabela 4.4 – Resultados da aplicação no emissário submarino de Maceió-AL	80
Tabela 5.1- Influência dos parâmetros nos resultados fornecidos pelos modelos UM3 e NRFIELD	83

RESUMO

A coleta, o tratamento e a destinação final dos esgotos domésticos são serviços urbanos essenciais. Nas regiões costeiras, uma das alternativas de tratamento e disposição dos efluentes sanitários é o lançamento destes através dos sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários. A principal função destes sistemas é diluir de forma eficiente o efluente para restringir o impacto ambiental da descarga a uma pequena área. A diluição dos efluentes está ligada ao processo de mistura hidrodinâmica, que pode ser dividido em duas regiões distintas: O campo próximo onde, o movimento da pluma de esgotos é influenciado pela turbulência gerada pela própria descarga e pela diferença de densidade do esgoto e da água do mar; O campo afastado onde, o formato e o movimento da pluma são influenciados principalmente pelas correntes marinhas. A modelagem computacional da dispersão da pluma de esgoto tem um papel fundamental na elaboração dos projetos e na tomada de decisões nos processos de licenciamento ambiental dos emissários. Este trabalho tem como objetivo principal o uso de modelos numéricos para a simulação da dispersão da pluma de esgoto sanitário em casos hipotéticos de emissários submarinos. As simulações dos casos hipotéticos realizadas neste trabalho, pelos modelos UM3 e NRFIELD disponíveis no *software Visual Plumes* serviram para apontar as diferenças nos resultados entre os modelos, e analisar a influência dos parâmetros (Velocidade da corrente, Direção da corrente, Profundidade, Número de portas, Espaçamento entre as portas, Diâmetro das portas e Orientação das portas), nos resultados do Diâmetro da pluma, Diluição da pluma e Distância horizontal da fonte. Um estudo de caso, ainda hipotético, para o emissário submarino de Maceió-AL foi realizado. Os resultados das simulações dos casos hipotéticos apontaram para as seguintes conclusões. O Diâmetro da pluma é fortemente influenciado pela profundidade do emissário. Quanto maior a profundidade, maior será o Diâmetro final da pluma. A Diluição da pluma foi influenciada pelos parâmetros espaçamento entre as portas e número de portas e velocidade da corrente. Quanto maiores esses parâmetros, valores mais altos da Diluição são obtidos. E, por fim a Distância horizontal da fonte é influenciada principalmente pelo parâmetro Velocidade da corrente ligado as características do ambiente. Para maiores valores deste parâmetro, maiores serão os resultados da distância horizontal da fonte. No estudo de caso para o emissário submarino de Maceió-AL os resultados obtidos apontaram para um bom funcionamento deste sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários. O Diâmetro da pluma atingiu o valor máximo 10,87 metros, a Diluição máxima no campo próximo encontrada para este emissário foi de 141,3 e a Distância horizontal da fonte foi de 9,32 metros.

Palavras-chave: Modelagem numérica, Campo próximo, Emissários submarinos.

ABSTRACT

The collecting, treatment and disposal of domestic sewage are essential urban services. On coast regions, the outfall system is an alternative treatment and disposal of wastewater. The main function of this kind of system is effectively dilute the effluent to restrict the environmental impact of discharge in a small area. The dilution of the effluent is linked to the mixing process hydrodynamics, which can be divided into two distinct regions: The Near Field where the movement of the sewage plume is influenced by turbulence generated by the discharge itself and the density difference of the sewer and sea water; and the Far Field, the shape and movement of the plume are mainly influenced by marine currents. Numerical modeling of the dispersion of the plume of sewage is very important during developing projects process and has influenced several decisions in the environmental licensing of the outfalls. This work has as main objective the use of numerical models to simulate the dispersion of the plume of sewage in hypothetical cases of submarine outfalls. The simulations of hypothetical cases of this work, the models UM3 and NRFIELD available in the software Visual Plumes served to point out the differences in results between the models, and analyze the influence of the parameters (current speed, current direction, depth, number of ports, spacing between the ports, diameter and orientation of ports), in the results of the diameter of the plume, dilution and horizontal distance from the source. A case study, still hypothetical, to the outfall of Maceió-AL was performed.. The diameter of the plume is strongly influenced by the depth of the outfall. The greater the depth, the larger the diameter of the final plume. The dilution of the plume was influenced by the parameters spacing between the ports, number of ports and the current speed. Those parameters were as much higher as the values of dilution which have been obtained. And, finally, the horizontal distance from the source is mainly influenced by current speed. For larger values of the parameter current speed, the greater the results of the horizontal distance from the source. In the case study for the outfall of Maceió-AL the results pointed to a suitable operation of this system of ocean disposal of sewage. The diameter of the plume reached the maximum value of 10.87 meters, the maximum dilution in the near field found for this outfall was 141.3, and the horizontal distance from the source was 9.32 meters.

Key words: Numerical modeling; Near Field; Outfall Systems.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Segundo Komar (1998) cerca de dois terços da população mundial vive a menos de 50 km do mar. Essa atração da costa sobre a população esta ligada a diversos fatores, como fornecimento de alimento e segurança, local de desenvolvimento comercial e industrial, e potencial para atividades de lazer e turismo (CARTER, 1988).

O Brasil possui um litoral de mais de 8.500 km e muitas cidades se desenvolveram ao longo da costa. Historicamente, esse adensamento não veio acompanhado por uma oferta de infraestrutura sanitária que atendessem adequadamente a população, e este fato é uma das principais causas da degradação da qualidade das águas costeiras que vem acontecendo nas últimas décadas (GONÇALVES & SOUZA, 1997, FEITOSA, 2007).

A coleta, o tratamento e a destinação final dos esgotos domésticos são serviços urbanos essenciais, sobretudo em regiões costeiras. Comprometer a balneabilidade das praias, bem como a qualidade das águas superficiais e subterrâneas com sistemas de esgotamento sanitário ineficientes ou inadequados, significa além do desperdício de um grande potencial de lazer e de desenvolvimento econômico, a enorme irresponsabilidade de expor a população à graves doenças de veiculação hídrica. Desta forma, o tratamento dos esgotos domésticos é um aspecto muito importante da gestão das áreas costeiras, que são, naturalmente, frágeis devido a sua complexa dinâmica ambiental.

Em regiões costeiras, o oceano representa um corpo receptor em potencial. Uma das formas de tratamento dos efluentes provenientes das atividades humanas é o lançamento destes no mar através dos sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários. Esses sistemas têm como função principal diluir de forma eficiente o efluente para restringir o impacto ambiental da descarga a uma pequena área. Constituem-se basicamente, de uma estação de Pré-condicionamento (EPC), para a remoção dos sólidos grosseiros, e de uma longa tubulação submersa no mar (Emissário submarino) que em seu trecho final lança os esgotos através de vários orifícios (difusores), permitindo assim, uma dispersão do efluente.

A eficiência da diluição dos efluentes nesses sistemas está ligada ao processo de mistura hidrodinâmica, que pode ser dividido em duas

regiões distintas: (i) O campo próximo, onde a trajetória do jato e o processo de diluição são influenciados pela quantidade de movimento (características do difusor) e pelo empuxo, devido a diferença de massa específica do efluente (aproximadamente 998 kg/m^3) e a da água do mar (aproximadamente 1.022 kg/m^3) e; (ii) O campo afastado, onde a trajetória e a taxa de diluição da pluma são controladas pelo movimento turbulento do corpo receptor (mar).

Este tipo de obra pode trazer muitos benefícios para a qualidade das praias na medida em que afasta o esgoto das mesmas, mas também pode gerar prejuízos ambientais se estes sistemas não forem bem dimensionados e operados (CETESB, 2007). Lamparelli (2006) defende que a sustentabilidade ambiental deste tipo de solução depende do aperfeiçoamento dos projetos, do monitoramento ambiental da região de influência dos emissários e da operação/manutenção tanto das EPCs, quanto das tubulações dos emissários.

Apesar de não existir legislação específica no Brasil para o controle dos lançamentos de emissários submarinos, a resolução 357/05 do CONAMA é, atualmente, um importante instrumento para a avaliação desses empreendimentos. Nesta resolução é introduzido o conceito de zona de mistura (Art. 2º, XXXVIII – “zona de mistura: região do corpo receptor onde ocorre a diluição inicial de um efluente”), e complementado, em parágrafo único: “A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento”. Desta forma, há uma preocupação no sentido de quantificar as concentrações dos efluentes na região da zona de mistura, e determinar a responsabilidade de estudar e monitorar a atividade.

A modelagem computacional do processo de dispersão da pluma de esgoto no mar tem um papel fundamental como ferramenta de auxílio na elaboração dos projetos dos emissários e na tomada de decisões nos processos de licenciamento ambiental para o funcionamento deste tipo de sistema de tratamento de esgoto sanitário.

A dispersão da pluma é usualmente modelada separando o campo próximo do campo afastado, pois segundo Carvalho (2003), as escalas espaciais e temporais nesses dois domínios se distinguem significativamente, dificultando assim, a aplicação em um único modelo.

Frente à evolução do estado da arte de modelagem de plumas de dispersão de efluentes e a disponibilidade de modelos matemáticos de uso livre na internet, neste trabalho pretende-se testar modelos numéricos para a simulação de casos hipotéticos de dispersão no campo próximo da pluma de esgoto sanitário oriunda de emissários submarinos.

Observa-se que a modelagem computacional da dispersão da pluma no campo próximo de efluentes oriundos de um emissário submarino é uma importante ferramenta tanto para o dimensionamento, quanto para o gerenciamento ambiental desta alternativa de tratamento e disposição final de esgotos sanitários em regiões costeiras.

1.2 Objetivos

Entender como as variáveis relacionadas aos processos físicos do ambiente e variáveis relacionadas às características do emissário influenciam na dispersão no campo próximo de plumas de efluentes oriundas de um emissário submarino de esgoto sanitário.

Os objetivos específicos são:

- Simular casos hipotéticos da dispersão da pluma de emissários submarinos com os modelos UM3 e NRFIELD;
- Comparar os resultados entre os modelos UM3 e NRFIELD;
- Analisar a influência isolada de uma ou de um conjunto de variáveis na dispersão da pluma de efluentes;
- Simular uma situação hipotética e aproximada para o emissário da praia da Avenida, em Maceió, estado de Alagoas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No primeiro momento da revisão bibliográfica, será feita uma abordagem geral sobre os sistemas de disposição de esgotos sanitários no oceano. As características desses sistemas, assim como um breve histórico e a atuação destes no mundo e no Brasil serão elucidados.

Após a apresentação dos sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários no oceano, será feita uma revisão sobre os processos físicos de dispersão que ocorrem nos difusores de um emissário submarino. As diferenças do campo próximo e do campo afastado serão mostradas.

Num terceiro momento, será ilustrada de forma sucinta, a modelagem numérica da dispersão da pluma em geral, para posteriormente focar na dispersão no campo próximo das plumas oriundas de sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários.

Para finalizar a revisão bibliográfica, serão abordadas as principais características do *software Visual plumes* e dos modelos UM3 e NRFIELD, ambos utilizados neste trabalho.

2.1 Sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários

Os sistemas de disposição oceânica de esgotos sanitários são projetados para utilizar a capacidade natural de dispersão e depuração da matéria orgânica no ambiente marinho. Segundo Feitosa (2007) esta capacidade advém da grande energia turbulenta disponível neste ambiente para dispersão do efluente, da alta disponibilidade de oxigênio dissolvido e do fato deste ambiente ser hostil para a sobrevivência de microorganismos. Esses sistemas são projetados para promover a redução das concentrações a níveis admissíveis antes que a pluma de esgoto possa atingir as áreas de usos benéficos, como aquelas relacionadas ao banho e esportes aquáticos ou a atividades de aquicultura (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

Os impactos ambientais da descarga do emissário ficam restritos a áreas relativamente pequenas, próximas a localização do difusor. A extensão desse impacto é função das características físicas do difusor, da descarga e do corpo receptor (CARVALHO, 2003).

Esses sistemas de disposição de esgotos no oceano são compostos geralmente por cinco partes (Figura 2.1): estação de pré-condicionamento (EPC), emissário terrestre, câmara ou chaminé de

equilíbrio, emissário submarino e tubulação difusora (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

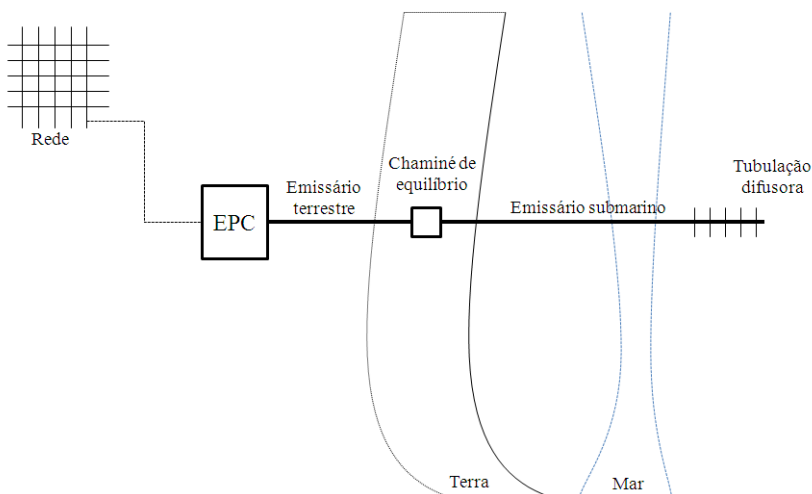


Figura 2.1- Esquema geral de um sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários (adaptado de GONÇALVES & SOUZA, 1997)

Na EPC acontece a remoção de sólidos grosseiros (grãos, plásticos, papéis, etc) através do gradeamento e da caixa de areia. Esta remoção de sólidos é importante para diminuir a carga poluidora e evitar que estes sólidos se acumulem na tubulação a jusante. Além do gradeamento e da caixa de areia, a desinfecção com o uso cloro gasoso (Cl_2) é um processo bastante utilizado no final do pré-condicionamento. No entanto este tipo de desinfecção é criticada por diversos autores, como (YANG, 2000) devido à possibilidade de formação de compostos orgânicos halogenados como Trihalometanos, que são tóxicos e cancerígenos, e podem contaminar o meio ambiente marinho quando despejados no mar junto com o esgoto.

O emissário terrestre conduz o efluente a ser lançado da estação de pré-condicionamento até a câmara ou chaminé de equilíbrio.

A câmara ou chaminé de equilíbrio (Figura 2.2) é uma unidade auxiliar ao processo de bombeamento que garante a estabilidade do bombeamento do esgoto pré-condicionado em regime contínuo e uniforme.



Figura 2.2- Chaminé de equilíbrio do emissário submarino de Maceió-AL. (fonte: Arquivo Pessoal)

O emissário submarino (Figura 2.3) é uma tubulação que pode ser de PEAD (Polietileno de Alta densidade) e/ou aço revestido de concreto. É uma estrutura integrante do sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários e tem como principal função transportar os efluentes pré-condicionados até a tubulação difusora.



Figura 2.3- Assentamento da tubulação (em PEAD) do emissário submarino de Salvador-BA. (fonte: www.odebrechtonline.com.br - acesso a página em 05/10/2009)

A tubulação difusora tem como principal função promover o a formação de um campo de mistura inicial. Pode conter orifícios múltiplos ou individuais. Na maioria dos emissários existentes no Brasil e em outras partes do mundo os difusores de orifícios múltiplos (Figura 2.4) são utilizados devido a sua maior eficiência no processo de diluição inicial.



Figura 2.4- Tubulação difusora (fonte: <http://www.tideflex.com> - acesso a página em 25/10/2009)

O primeiro sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários foi implantando em 1911 no Canadá. Com 1.760m de extensão e 1,50m de diâmetro interno este sistema atendia uma vazão de 2,6 m³/s (GONÇALVES & SOUZA, 1997). As características dos emissários variam bastante em função das técnicas construtivas disponíveis. Segundo Bleninger (2006), de 1950-1980 o material mais empregado em emissários submarinos era o aço carbono, de 1970-2000, o concreto armado e de 1990 até hoje o PEAD. Este mesmo autor elaborou uma tabela (Tabela 2.1) com as características mínimas, médias e máximas de 200 emissários de efluentes domésticos e industriais existentes no mundo.

Tabela 2.1- Características gerais dos emissários mundiais
(fonte: **BLENINGER, 2006**)

CARACTERÍSTICAS	FAIXA DE VALORES		
	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
Custo [US\$ Milhões]	2	7	3.500
Vazão Máxima [m³/s]	0,1	1,5	55
Diâmetro [m]	0,1	1	8
Comprimento da tubulação difusora [m]	10	100	1.000
Comprimento total (inclusive difusor) [m]	100	1.300	16.000
Diâmetro dos orifícios [mm]	10	100	300
Profundidade de descarga [m]	4	10	60

Em 1970 foi projetado o primeiro emissário submarino no Brasil: implantado na praia de Ipanema, no Rio de Janeiro, com um diâmetro da tubulação de 2,40 metros para atender uma vazão de 12,3 m³/s.

No Brasil, existem algumas dezenas de emissários submarinos. A Tabela 2.2 contém alguns dos emissários existentes no Brasil com suas principais características.

Tabela 2.2 Principais características de alguns emissários submarinos do Brasil (fonte: **GONÇALVES & SOUZA, 1997, www.cetesb.sp.gov.br - acesso a página em 02/11/2009**)

LOCAL	DIÂMETRO(m)	EXTENSÃO DO EMISSÁRIO (m)	PROFUNDIDADE DE DESCARGA (m)	VAZÃO (m³/s)
Belem-PA	0,80	320	5,0	0,6
Praia Grande I-SP	1,00	3.300	12,5	1,0
Guarujá-SP	0,90	4.500	14,0	1,4
Praia Grande II-SP	1,00	3.415	13,0	1,4
Maceió-AL	1,5	2.820	15,0	2,0
Salvador-BA	1,75	2.420	27,0	5,2
Santos-SP	1,75	4.000	10,0	7,0
Ipanema-RJ	2,40	4.325	26,0	6,0

2.2 Dispersão dos efluentes sanitários no oceano

Os fenômenos que se passam na ponta de um emissário submarino são os mesmos que ocorrem na ponta de uma chaminé: jatos fluidos

penetrantes em ambiente estratificado não estagnado, de diferente densidade” (GONÇALVES & SOUZA, 1997). Desta forma, observa-se na Figura 2.5 que tanto uma chaminé como um emissário, tem como principal finalidade promover a dispersão do efluente fluido (gasoso e líquido respectivamente) no meio ambiente de forma a garantir a proteção das áreas de interesse.

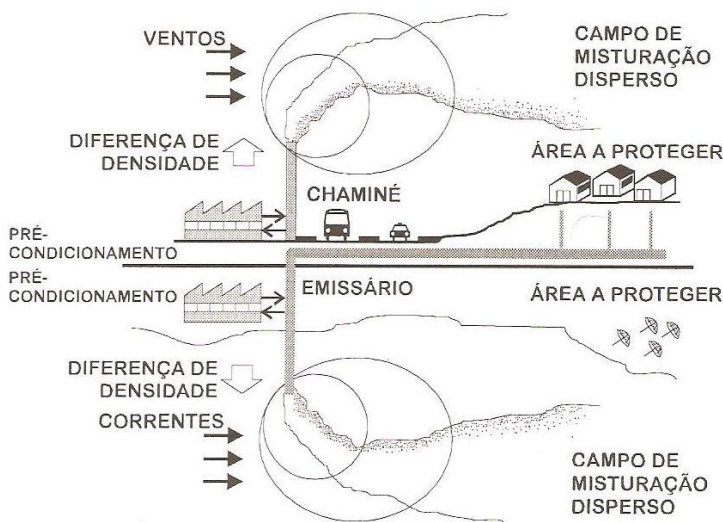


Figura 2.5– Analogia dos processos de dispersão que ocorrem numa chaminé e num emissário submarino. (fonte: GONÇALVES & SOUZA, 1997)

A dispersão dos efluentes lançados de um emissário submarino no oceano pode ser dividida em dois momentos: (i) O campo próximo, onde o movimento da pluma é influenciado basicamente pela turbulência gerada pela própria descarga e pela diferença de massa específica do esgoto e da água do mar. (ii) O campo afastado que é influenciado principalmente pela hidrodinâmica do local (CARVALHO, 2003; CETESB 2007).

Na região denominada campo próximo a diluição aumenta rapidamente com a distância ao difusor até que a energia cinética turbulenta gerada pelo empuxo e momentum da descarga seja dissipada.

A máxima diluição alcançada é denominada diluição inicial. Esta diluição depende das condições ambientais e das características geométricas do difusor (Figura 2.6). À medida que o jato se eleva em direção à superfície, mistura-se com a água do mar, e tanto a força de lançamento quanto o empuxo decrescem, sendo transformados pela ação advectiva das correntes marinhas (FORTIS, 2005; CETESB 2007; FEITOSA, 2007).

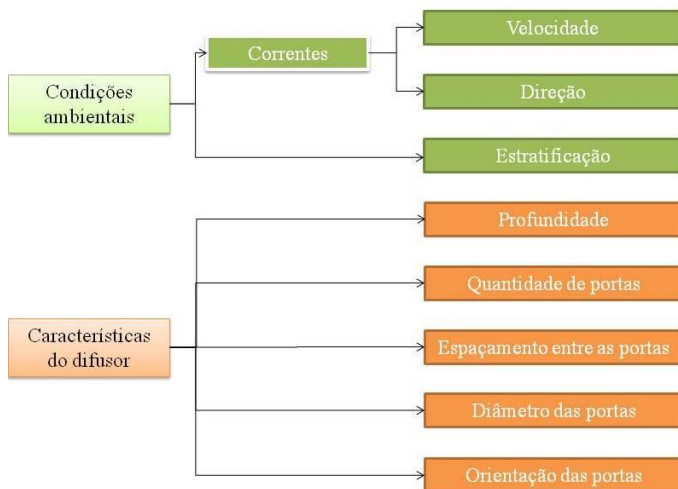


Figura 2.6– Fatores que influenciam a diluição no campo próximo.

Como exemplo de influência das condições ambientais, podemos observar de que forma as correntes e a estratificação podem afetar a diluição e a trajetória dos jatos lançados do sistema difusor. Na Figura 2.7a, a deflexão no jato flutuante na direção das correntes induz um aumento da mistura. Na Figura 2.7b, observa-se um ambiente estratificado, que irá agir na retração da aceleração vertical do jato, aprisionando a pluma de efluente em um certo nível da coluna d'água, dificultando assim a mistura inicial do efluente (JIRKA et al.,1996).

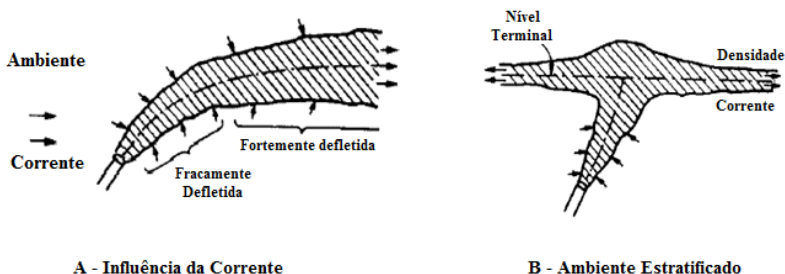


Figura 2.7– Correntes e estratificação térmica do ambiente afetando a trajetória dos jatos do sistema difusor. (fonte: JIRKA ET AL., 1996)

Na medida em que a pluma se afasta do ponto de lançamento, as características geométricas do difusor diminuem a influência no processo de dispersão. A partir deste ponto a pluma não interfere mais na hidrodinâmica ambiente, uma vez que cessam as diferenças de densidade e quantidade de movimento entre o efluente e o meio. Isto ocorre porque a pluma ejetada vai se misturando com a água ambiente, até tornar-se neutra.

Nesta segunda região, chamada de campo afastado, a turbulência do ambiente irá controlar a trajetória e a taxa de diluição da pluma. Contudo, devem ser realizados intensivos estudos e medições para compreender melhor os fenômenos físicos que envolvem a mistura oceânica, pois existem uma série de condições hidrodinâmicas, que variam conforme as condições locais de cada região (FEITOSA, 2009; CETESB 2007).

A zona de mistura de um efluente (Figura 2.8) no corpo d'água abrange tanto o campo próximo quanto o campo distante (CETESB 2007). Devido à natureza turbulenta do escoamento, as flutuações na concentração instantânea do efluente, quando comparadas à concentração média, são grandes próximo ao difusor e diminuem em direção ao final da zona de mistura. Neste ponto, diz-se que o campo de esgotos está estabelecido e a diluição ali observada é efetivamente a diluição inicial.

Legalmente a extensão da zona de mistura de um efluente em um corpo d'água pode ser definida como uma região onde os parâmetros de qualidade da água podem ser excedidos dentro de novos valores limites (CONAMA, 2005). A utilização de emissários submarinos deve ser

definida a partir de projetos adequados para garantir a qualidade da água evitando que a zona de mistura possa interferir nos usos previstos para a água (GONÇALVES & SOUZA, 1997).

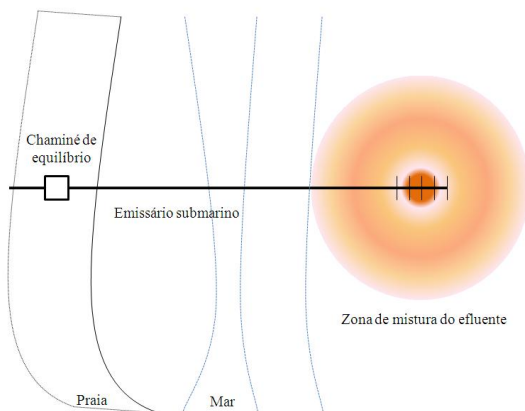


Figura 2.8– Zona de mistura do efluente em um emissário submarino (adaptado de GONÇALVES & SOUZA, 1997)

Dentre as diferentes ferramentas necessárias para elaboração de um projeto de emissários submarinos, e execução do mesmo, um importante conhecimento é a modelagem numérica.

2.3 Modelagem numérica de plumas de dispersão dos esgotos sanitários no oceano

A modelagem computacional do processo de dispersão da pluma de esgoto descarregada por sistemas difusores de emissários submarinos é uma ferramenta poderosa no auxílio à tomada de decisão da licença ambiental para o funcionamento de um emissário. Essa modelagem pode fornecer subsídios, quando acompanhada do monitoramento de campo, à definição da zona de mistura da pluma do efluente no mar (ORTIZ et al., 2006).

Segundo vários autores, como Carvalho (2003) e Feitosa (2007), a modelagem do processo de dispersão da pluma de um emissário submarino deve ser feita separando o campo próximo do campo

afastado. Esta separação se deve principalmente ao fato das causas e das escalas espaciais e temporais envolvidas no processo de mistura do efluente sanitário em águas marinhas distinguem-se significativamente.

Atualmente, diversos trabalhos são realizados através do uso de *softwares* que fazem o acoplamento de modelos que simulam o campo afastado e o campo próximo. Este acoplamento permite avaliar o impacto provocado pelo lançamento do efluente, de uma forma mais fiel a realidade, considerando variações horárias dos diversos fatores ambientais que intervêm na dispersão e também no decaimento do contaminante. O modelo de campo próximo determina, dentre outros resultados, o diâmetro da pluma, diluição inicial, distância horizontal da pluma e a altura de elevação da pluma. Os resultados fornecidos pela modelagem no campo próximo determinam as condições de contorno do modelo de campo afastado, que por sua vez permite avaliar a influência da hidrodinâmica no transporte e na diluição de contaminantes simuladas no campo afastado.

Este trabalho será focado em modelos de campo próximo, enfatizando a importância desta etapa na simulação de plumas de efluentes. Além disto, a dificuldade de se obter dados medidos torna-se uma limitação para a modelagem da dispersão da pluma no campo afastado.

2.4 Modelagem numérica, no campo próximo, de plumas de dispersão dos esgotos sanitários no oceano

A modelagem no campo próximo visa determinar as principais características da pluma tais como diâmetro, diluição inicial e a distância horizontal da fonte (Feitosa et al., 2009). Nesta região a intensa mistura que ocorre próximo à fonte deve-se à turbulência gerada pelos fluxos de momentum devido à vazão, e pelos fluxos de massa devido ao empuxo. Desta forma, a máxima diluição alcançada que é denominada diluição inicial, é regida principalmente pelas características do difusor (profundidade, quantidade de portas, espaçamento entre as portas, o diâmetro individual das portas e o alinhamento das mesmas) e as características do corpo d'água receptor (correntes e perfil de densidade).

As características de maior interesse na modelagem do campo próximo podem ser observadas na Figura 2.9, onde:

Z_e é a altura do topo da pluma de esgotos em relação ao fundo;

Z_m é a altura do nível de máxima concentração;
 H_e é a espessura da pluma;
 W é a largura da pluma;
 $\rho(z)$ é o perfil de densidade no eixo z que representa a estratificação da coluna d'água

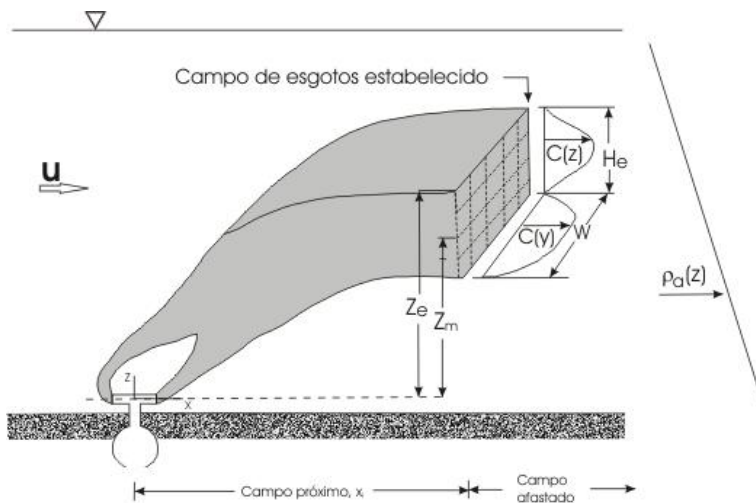


Figura 2.9– Principais características do campo próximo (adaptado de Roberts, 1996).

Como se pode observar na Figura 2.9, $C(y)$ e $C(z)$ representam o perfil da concentração da pluma nos sentidos y e z respectivamente. Analisando esse perfil, nota-se que os maiores valores de concentração se encontram no centro da pluma (Z_m), onde a diluição da pluma é a mínima.

A previsão das características da pluma de esgotos é complexa devido às muitas variáveis envolvidas no processo. No entanto, existem alguns modelos de uso difundido para uma determinação aproximada/simplificada do campo próximo.

O software *Visual plumes*, disponibilizado pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA - *United States Environmental Protection Agency*), possui três modelos de dispersão no campo próximo de plumas submersas, dos quais dois serão utilizados neste trabalho: o NRFIELD (também conhecido como RSB) e o UM3. Um

maior detalhamento destes modelos está descrito no item 2.5 deste trabalho. O *Visual plumes* é disponibilizado gratuitamente na internet, fato importante na escolha para a realização de trabalhos acadêmicos sobre este tipo de assunto.

Outro modelo que calcula o campo próximo muito utilizado pela comunidade científica e empresas em diversos países é o CORMIX (*Cornell Mixing Expert System*). É um modelo de zona de mistura da USEPA. É utilizado como uma ferramenta para avaliar os impactos ambientais de fontes de descargas pontuais e contínuas em corpos hídricos. O modelo analisa a interação na zona de mistura para prever o estado estacionário da mistura e a geometria da pluma (JIRKA et al., 1996). O CORMIX é citado aqui a título de informação, pois não será utilizado neste trabalho

Todos estes modelos já foram testados em diferentes estudos de emissários submarinos, conforme exemplos a seguir. Carvalho et al., (2002) compararam resultados das simulações feitas com o UM3, CORMIX e NRFIELD com medições realizadas em campo no emissário submarino de esgotos de Ipanema (RJ). Os resultados obtidos mostraram que o NRFIELD foi o que apresentou as melhores estimativas da altura terminal alcançada pela pluma ao longo da coluna d'água. O NRFIELD também apresentou resultados satisfatórios em estudos realizados por ROBERTS et al., (2002) no emissário de Boston (EUA).

Na presente proposta de trabalho serão utilizados os modelos UM3 e NRFIELD do *Software Visual plumes* devido à disponibilidade e qualidade já comprovada em diversos trabalhos científicos.

2.5 Software *Visual plumes*

Entre os programas que foram desenvolvidos para a modelagem do campo próximo, o *Visual plumes* (VP) possui destaque, pois é disponibilizado gratuitamente, desde Setembro de 2001, pela USEPA.

O *Visual plumes*, para plataforma *Windows* é uma evolução da antiga versão do *Plumes* feita para DOS. Dentre as novas características, uma ferramenta que permite a entrada de séries temporais de dados foi incorporada ao programa possibilitando, assim, análises ao longo do tempo comparando os melhores e piores cenários possíveis.

Na sua nova interface existem três diferentes modelos de dispersão em campo próximo da pluma de emissários submarinos (UM3, DKHW

e o RSB ou NRFIELD) e um modelo de dispersão para descarga na superfície (PDSW). Os modelos DKHW e PDSW também são citados neste trabalho a título de informação, pois e não serão utilizados.

O UM3 é um modelo baseado na teoria do “carreamento da área projetada” (*PAE-Projected-area-entrainment*) tri-dimensional, aplicado a descargas submersas através de uma ou múltiplas portas. Seu nome esta baseado no seu antecessor, o UM (BAUMGARTNER et al., 1994) e UMERGE (MUELLENHOFF et al., 1985 apud FRICK et al., 2003).

O modelo RSB ou NRFIELD é baseado nos estudos de (ROBERTS, 1979 e ROBERTS et al., 1989 I, II, III) que descreve abordagens para descarga por difusores multi-portas em ambientes estratificados e homogêneos, variando as velocidades de corrente e as características geométricas dos mesmos. Nesses estudos, foram elaboradas formulações empíricas consistentes, baseadas em análise dimensional, argumentos de escalas de comprimento e extensivos experimentos em laboratório.

A capacidade do *Visual plumes* de executar modelos diferentes consecutivamente e exibir os resultados na forma gráfica possibilita a comparação destes e contribui para o continuo desenvolvimento dos modelos de dispersão da pluma no campo próximo (FRICK et al., 2003).

Os dados de entrada podem ser inseridos no *Visual plumes* através das três “abas” existentes em sua interface. Na aba *Diffuser* (Figura 2.10a) deve-se inserir as principais características do emissário, como por exemplo, a profundidade das portas (*Port Depth*), o diâmetro do difusor (*Port diameter*) e a vazão do efluente (*Effluent flow*). Na aba *Ambient* (Figura 2.10b) as características do corpo receptor, como por exemplo, a profundidade (*Depth*) e a velocidade da corrente (*Current Speed*). Na aba *Special Settings* (Figura 2.10c), além de inserir dados adicionais, poderá ser feito ajustes na forma como os resultados são disponibilizados.

Visual Plumes, Ver. 1.0; U.S. Environmental Protection Agency, ERD-Athens, ORD, 14 August 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: EXEMPLO TCC DAVI.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Project C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI
 Project "C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI" memo

Ambient file list

Filename	Cases
C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI.001.db	1

☐ After run go to tab
☐ Diffuser
☐ Ambient
☐ Special
☒ Text
☐ Graphics

Model Configuration
☐ Brooks far-field solution
☐ Graph effective dilution
☐ Average plume boundary
☐ Amb. current vector averaging
☐ Total pollution buildup
☐ Same-levels time-series input

Units Conversion
☐ Convert data
☐ Label only

Case selection:
☒ Base or selected case
☐ Sequential, all ambient list
☐ Sequential, parse ambient
☐ All combinations

Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs

Port diameter	n/A	Port elevation	Vertical angle	Hor. angle	Num of ports	Port spacing	n/A	n/A	Acute mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc	
m	m	m	deg	deg	m	m	s	s	m	m	m	m ³ /s	psu	C	kg/kg	

Parameters for selected row

Fructose number	
Eff. density (kg/m ³)	
Port vel (m/s)	
Porting (kg/s)	1.0
Porting (kg/s)	1.0
Case No.	1

Time Series-Files (optional)

Time-series filename	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
Time increment (hrs)	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time cycling period					
Measurement unit					

Borrow time-series from project: C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI

Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
click for file	click for file	click for file	click for file	click for file

Project memo

a –Aba Diffuser

Visual Plumes, Ver. 1.0; U.S. Environmental Protection Agency, ERD-Athens, ORD, 14 August 2001


File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: EXEMPLO TCC DAVI.vpp.db | Ambient: C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Ambient Inputs

Measurement	Current speed	Current direction	Ambient salinity	Ambient temperature	Background concentration	Pollutant decay rate(1)	n/A	n/A	Farfield diffusion coeff
depth or height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth
Extrapolation (m)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (m)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	n/s	deg	C	kg/kg	s-1	m/s	deg	m0.674/2

0



Ambient file list
 Filename
 EXEMPLO TCC DAVI.001

Time-Series Files (optional)

Time-series filename	Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
Time increment (hrs)	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Cycling period					
File measurement unit					

Borrow time-series files from project: C:\Plumes\EXEMPLO TCC DAVI

Port depth	Effluent flow	Effluent salinity(‰)	Effluent temp	Effluent conc
click for file	click for file	click for file	click for file	click for file

b –Aba Ambient

c –Aba Special settings

Figura 2.10– Campos para dados de entrada no *Visual plumes*

Os resultados das simulações feitas do *software Visual plumes* são fornecidos em forma de gráficos e texto (Figura 2.11 e Figura 2.12). A diluição, a distância horizontal da fonte e a elevação da pluma na coluna d'água são alguns dos principais resultados disponibilizados.

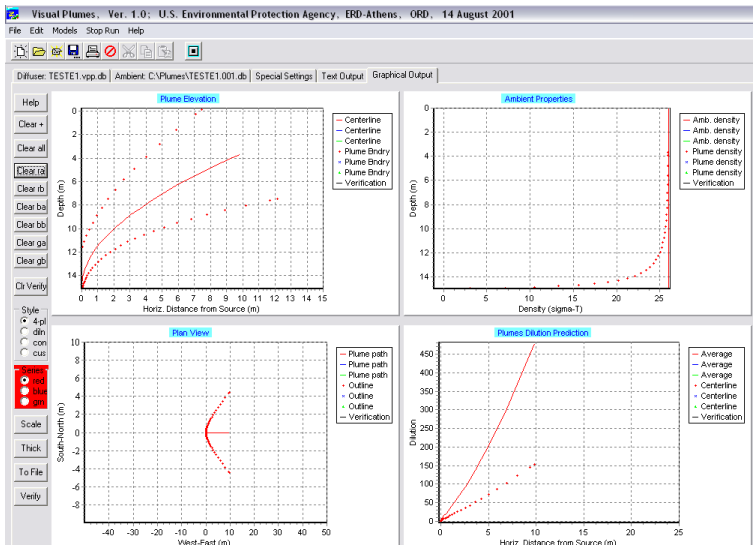


Figura 2.11- Exemplo de gráficos resultantes de uma simulação no software *Visual plumes*

Clear text display

Clear +

Output options

Numerical only

Figura 2.12- Exemplo de texto resultante de uma simulação no software *Visual Plumes*

2.5.1 Modelo UM3

O modelo UM3, como foi dito anteriormente, é aplicado a descargas submersas através de uma ou múltiplas portas. Este modelo está codificado linguagem Delphi Pascal, que é a mesma que o *Visual plumes* esta escrito.

O UM3 é um modelo baseado na teoria de “carreamento da área projetada” (*PAE-Projected-area-entrainment*) que segue um referencial lagrangeano. No UM3, é calculada a taxa com que a massa (água) é incorporada a pluma através do carreamento forçado devido à presença das correntes e do carreamento de Taylor.

Neste modelo, os cálculos são feitos para o estado estacionário, e este fato combinado ao referencial lagrangeano implica no cálculo de sucessivos elementos de pluma seguindo a mesma trajetória. Esses elementos de pluma sucessivos que foram formados permanecem invariáveis até a formação da pluma como um todo, pois considera-se que a escala de tempo em que a pluma se forma é bem menor do que a escala de tempo das mudanças das condições ambientais e da descarga dos emissários (FRICK et al., 2003).

A equação geral abaixo que governa o modelo UM3, o primeiro termo se refere ao carreamento forçado, e o segundo ao de Taylor.

$$\frac{dm}{dt} = -\rho \bar{A}_p \bar{U} + \rho A_T v_t$$

Onde, dm/dt é a taxa com que a massa (água) é incorporada a pluma; ρ é a densidade do ambiente; A_p é a área projetada; U é a velocidade da corrente com direção normal a área projetada; A_T área de contato lateral da pluma com o ambiente; v_t é a velocidade média da pluma.

Devido ao fato de que UM3 é codificado em Delphi Pascal, a língua nativa do *Visual Plumes*, o UM3 é totalmente integrado com a sua interface.

2.5.2 Modelo NRFIELD

Como foi dito anteriormente, o NRFIELD, também chamado de RSB, utiliza formulações semi-empíricas baseadas nos resultados de extensivos experimentos em laboratório com difusores multi-portas em

ambiente estratificado realizados por Roberts, Snyder, and Baumgartner (1989 I,II,III).

Para este modelo as variáveis primárias envolvidas são os fluxos cinemáticos de volume, momentum, e empuxo. Quando as portas do difusor estão muito espaçadas entre si, predominam as características de descargas individuais.

$$Q_p = u_p A$$

$$M = u_p Q_p$$

$$B = g_e ' Q_p$$

Onde, Q_p , o fluxo inicial de volume, é a descarga individual da porta, u_p é a velocidade de saída da porta, A é a área da porta,

$g_e ' = g \frac{\Delta \rho}{\rho_a}$ é a aceleração da gravidade modificada (ou gravidade reduzida), $\Delta \rho = \rho_a - \rho_e$ é a diferença entre as densidades do efluente, ρ_e , e do corpo d'água receptor na profundidade da porta, ρ_a .

Por outro lado, quando as portas estão muito próximas, as descargas individuais irão fundir-se totalmente e comportar-se como um escoamento bidimensional. Neste caso a descarga é descrita pelos fluxos de volume, empuxo e momentum por unidade de comprimento do difusor:

$$q = Q/L = 2 Q_p / s$$

$$m = u_p q$$

$$b = g_e ' q$$

Onde $Q = \sum Q_p$ é a descarga total do difusor, L é o comprimento do difusor, e s é o espaçamento entre as portas.

Wright et al. (1984) apud Feitosa (2007) definiram as seguintes escalas de comprimento para as condições de fonte pontual (l_M e l_Q) e fonte em linha (l_m e l_q):

$$l_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \quad l_Q = \frac{Q_p}{M^{1/2}}$$

$$l_m = \frac{m}{b^{2/3}} \quad l_q = \frac{q^2}{m}$$

Onde l_M e l_m representam a distância sobre a qual o fluxo de quantidade de movimento do efluente é dominante em relação ao fluxo de empuxo, e l_Q e l_q caracterizam a distância na qual a vazão do efluente exerce influência sobre o escoamento ambiente.

As características da descarga dependem ainda de certas propriedades do corpo receptor tais como (i) velocidade da corrente e (ii) estratificação de densidades.

(i) Roberts (1979) definiu um número adimensional, como uma variante do número de Froude:

$$F = \frac{u^3}{b}$$

Onde, u é a velocidade das correntes atuantes sobre a tubulação difusora e b corresponde a fluxo de empuxo, descrito anteriormente. O valor de F descreve as magnitudes relativas, das forças sobre o efluente, devido ao empuxo, e a inércia do escoamento ambiente. Para pequenos valores de F , o escoamento é governado pelo empuxo da descarga efluente, ao passo que para elevados valores de F , o escoamento é governado pelos efeitos da corrente ambiente.

(ii) A estratificação de densidades tende a inibir movimentos verticais, as flutuações turbulentas verticais são suprimidas diminuindo a diluição e a altura de ascensão da pluma. A estratificação, sendo linear ou não, pode ser caracterizada pela frequência de Brünt-Vaisala, N :

$$N = \left(-\frac{g}{\rho_0} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{1/2}$$

Onde, ρ_a é a densidade ambiente na profundidade z e ρ_0 é a densidade ambiente no nível de lançamento.

A disposição oceânica de esgotos é geralmente efetuada através de difusores multi-portas. Qualquer variável dependente em um problema deste tipo pode ser expressa como:

$$\Phi = f(u_p, g, \rho_a, \rho_e, \nu, D, s, H, u, \theta, N)$$

Onde, dos termos não definidos acima, ν é a viscosidade cinemática da fonte, D é o diâmetro da porta, s é o espaçamento entre as portas, H é a profundidade da porta e θ é o ângulo da corrente em relação ao eixo do difusor.

Adotando simplificações, e efetuando análise dimensional através dos experimentos realizados as formulações para os valores dos parâmetros de saída (diâmetro da pluma, diluição, distância horizontal da fonte, altura de elevação da pluma, dentre outros) foram obtidas a partir dessa formulação geral mostrada acima.

3 METODOLOGIA

A metodologia será dividida em duas fases. Na primeira fase serão feitas simulações de casos hipotéticos com os modelos UM3 e NRFIELD disponíveis no *software Visual plumes*. Estas simulações servirão para fazer um estudo de sensibilidade dos modelos citados, na tentativa de entender a resposta dos modelos às mudanças das variáveis de configuração da simulação isoladamente. O conhecimento do efeito de cada fator que influencia o resultado separadamente irá proporcionar um maior entendimento do modelo e dos processos, para o objetivo de representar a realidade da forma mais fiel possível. Os resultados em conjunto com levantamentos bibliográficos servirão para se eleger um destes modelos para seguir a modelagem do estudo de caso.

Na segunda fase, utilizando um dos modelos acima citados do *software Visual plumes*, será feita uma aplicação em um estudo de caso. Este estudo de caso será realizado para um emissário localizado na praia da Avenida, Maceió – AL. Esta aplicação será ainda hipotética devido à falta de dados oceanográficos para esta região. Para tal, serão levantados dados das características do emissário na visita ao local e serão adotados valores hipotéticos de correntes e características do corpo d'água receptor. A seguir será apresentado um melhor detalhamento da metodologia a ser utilizada.

3.1 Simulações hipotéticas com os modelos UM3 e NRFIELD

Na Figura 2.6 do item 2.2 deste trabalho os parâmetros que interferem na dispersão da pluma no campo próximo foram apresentados. Alguns destes parâmetros vão ser variados para as simulações dos casos hipotéticos propostos neste trabalho. A vazão do emissário e alguns parâmetros ambientais serão mantidos constantes nestas simulações, conforme descritos abaixo:

- (i) Vazão média de $0,154 \text{ m}^3/\text{s}$;
- (ii) Temperatura do efluente de 26° Celsius e densidade do efluente de 998 kg/m^3 ;
- (iii) Temperatura do ambiente de 15° Celsius ;
- (iv) Densidade da água do mar de 1022 kg/m^3 .

As Figura 3.1 e Figura 3.2 representam esquematicamente, a forma com que o *software Visual Plumes* será configurado em relação aos parâmetros variáveis. Na Figura 3.1 observa-se a configuração dos modelos para as simulações dos casos hipotéticos em relação às parâmetros (variáveis) de características do emissário:

- (a) Profundidade das portas (12 e 18 m);
- (b) Número de portas (5 e 20 unidades);
- (c) Espaçamento entre as portas (5 e 10 m)
- (d) Diâmetro das portas (3 e 5 polegadas) ou (7,62 e 12,70 cm).

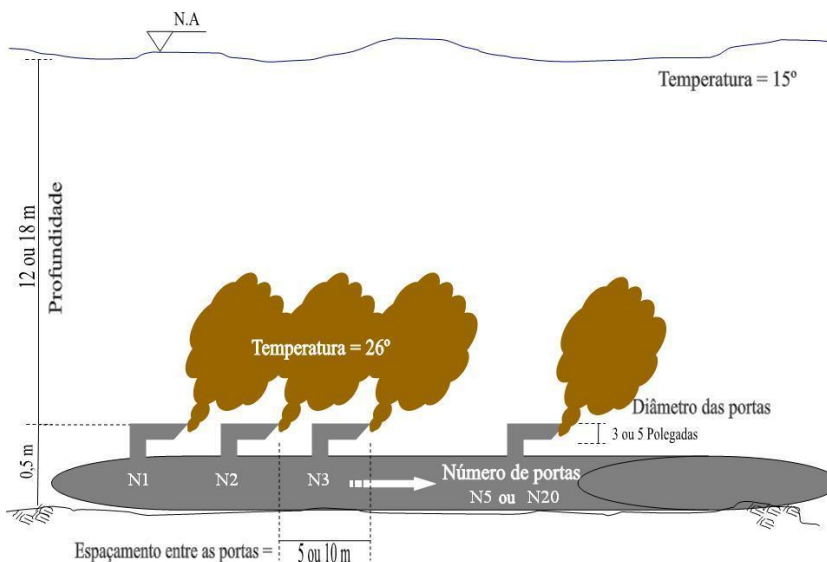


Figura 3.1- Esquema exemplificando como os parâmetros ambientais constantes e os parâmetros de características do emissário foram configurados do *Visual Plumes*. A vazão ($0,154 \text{ m}^3/\text{s}$) e a densidade da água do mar (1022 kg/m^3) são constantes.

Na Figura 3.2 são indicados os valores da variação dos parâmetros ambientais e parâmetros do difusor:

- (a) Direção da corrente (45 e 90 graus).
- (b) Orientação das portas (45 e 90 graus).

Além desses seis parâmetros que foram mostrados esquematicamente na Figura 3.1 e Figura 3.2, a velocidade da corrente é mais um parâmetro ambiental que foi variada com os valores de 0,1m/s e 0,4 m/s.

Para todas as simulações os parâmetros da aba *special settings* do software *Visual plumes* foram mantidos padrão (*Default*).

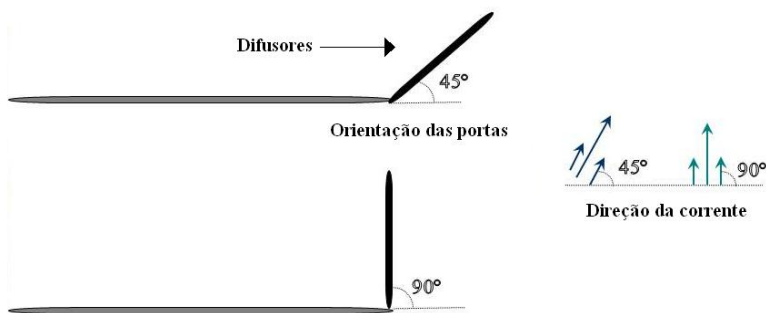


Figura 3.2- Esquema de como foram configurados no *Visual Plumes* os parâmetros: Direção da corrente e Orientação das Portas.

A Figura 3.3 ilustra as 128 (2x2x1x2x2x2x2x1) simulações de casos hipotéticos que foram feitas para cada modelo utilizado (UM3 e NRFIELD), totalizando 256 rodadas executadas. Na Figura 3.3 a cor verde representa os parâmetros ambientais, a laranja representa as características do difusor e a cor azul representa a vazão do emissário. Todas as faixas de valores escolhidas para configurar os parâmetros nos modelos foram estabelecidas através de consulta bibliográfica.



Figura 3.3- Quantidade e variação dos parâmetros utilizados nas simulações

3.2 Combinação dos parâmetros para formação dos Casos hipotéticos

Para organizar as combinações possíveis foi elaborado um fluxograma. No entanto, devido ao grande tamanho do histograma, o mesmo foi recortado e mostrado de forma esquemática para fim de exemplificar a distribuição dos casos (Figura 3.4).

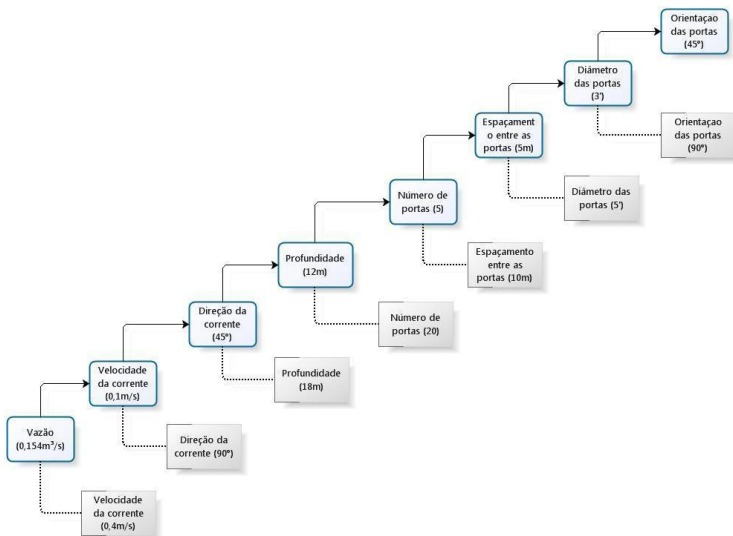


Figura 3.4- Fluxograma da variação dos sete parâmetros: Velocidade da Corrente, Direção da Corrente, Profundidade, Número de Portas, Espaçamento entre as Portas, Diâmetro das Portas e Orientação das Portas

Os parâmetros ambientais são dispostos primeiramente e na sequência os parâmetros de características do emissário. Seguindo o fluxograma os casos hipotéticos foram estabelecidos a fim de representar todas as possíveis combinações dos parâmetros. Para o melhor entendimento desta distribuição está representada na Figura 3.5 a combinação que formou o caso 4. No APÊNDICE A encontram-se todas as combinações dos parâmetros e definição de cada caso. Trata-se de uma tabela em cores feita com para simplificar a comparação dos resultados que irão ser obtidos com a combinação dos parâmetros da formação de cada caso.

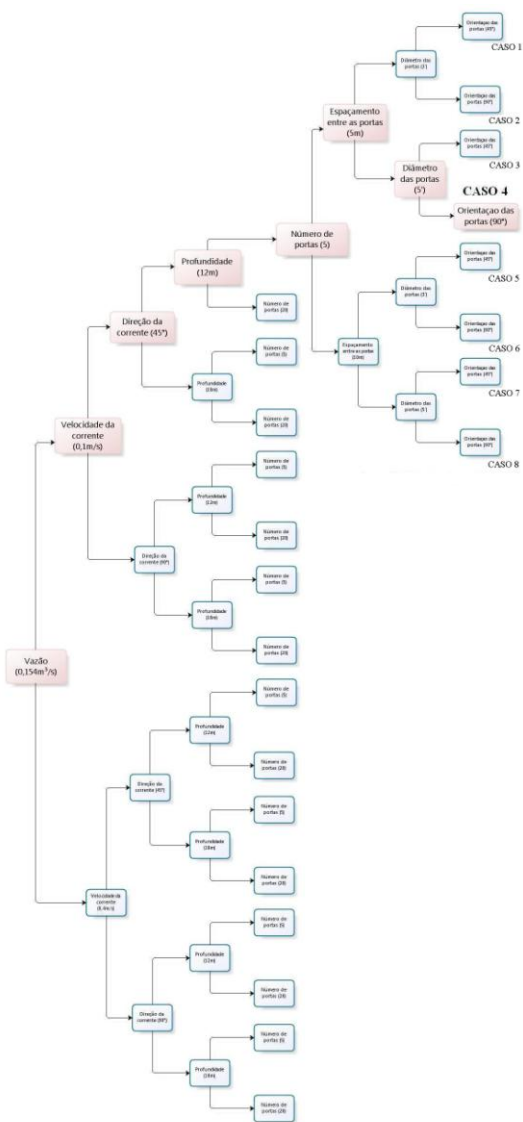


Figura 3.5- Exemplo da formação do Caso 4

3.3 Resultados das simulações dos Casos hipotéticos a serem analisados.

Entre cada um dos modelos rodados, para seus respectivos 128 casos, três tipos de resultados foram obtidos e analisados:

- (i) Diâmetro da pluma
- (ii) Diluição da pluma
- (iii) Distância horizontal da fonte

(i) O diâmetro da pluma é dada em metros ao final do espalhamento do campo próximo. Este resultado mostra o quanto que a pluma se espalhou e se difundiu para as adjacências.

(ii) A diluição é a relação da concentração inicial (efluente) com a concentração final (efluente + água do mar). Projetos de emissários submarinos geralmente buscam alcançar diluição inicial em torno de 100 (LUDWIG, 1988). Isto significa que se a concentração do efluente for 100 unidades de medida na saída dos difusores do emissário, ao final do campo próximo esta concentração irá baixar para 1 unidade de medida. Quanto maior o valor do parâmetro diluição, menor será a concentração final da mistura (efluente+água do mar).

(iii) A distância horizontal da fonte, também mensurada em metros, é a distância máxima entre o ponto central da linha dos difusores e o local em que a pluma atinge o final do campo próximo. Ou seja, onde a sua trajetória e diluição não estão sendo influenciadas mais pela turbulência gerada pelos fluxos de momentum devido à ejeção, e pelos fluxos de massa devido ao empuxo.

A Figura 3.6 representa esquematicamente essas três saídas dos modelos que serão utilizadas como resultados neste trabalho. A distribuição da concentração na pluma está representada na Figura 3.6, que mostra que do centro para as extremidades da pluma a intensidade da cor fica mais fraca e isto representa uma maior diluição quanto mais distante do centro da pluma.

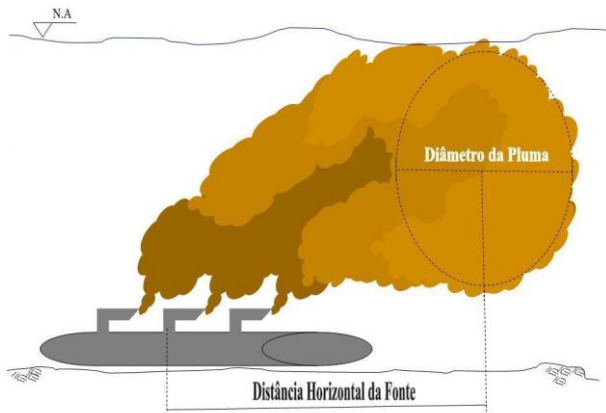


Figura 3.6-Esquema dos resultados obtidos em cada uma das 128 simulações

3.4 Estudo de caso

Após efetuar análises dos resultados das simulações dos casos acima citados, um estudo de caso que ainda vai levar em consideração alguns parâmetros hipotéticos será efetuado neste trabalho. O modelo utilizado na simulação será escolhido após análise dos resultados da primeira fase da metodologia.

3.4.1 Área de estudo

O emissário submarino a ser simulado como aplicação de um caso hipotético com algumas variáveis reais é o emissário localizado na praia da Avenida, Maceió – AL (Figura 3.7), objeto de estudo nesta parte do trabalho.

Este emissário recebe todo o volume coletado, e após um pré-tratamento (gradeamento grosseiro e fino, homogeneização e desarenação) envia este volume a cerca de 3,6 km da praia, onde a profundidade mínima da coluna d'água é de 15 m e a corrente de norte para o sul é predominante durante praticamente todo o ano (www.casal.al.gov.br - Acesso em 15 de dezembro de 2009).



Figura 3.7-Emissário Submarino de Maceió-AL

Uma visita foi feita ao emissário submarino no dia 5 de Janeiro de 2010 e dados atualizados (Tabela 3.1) do funcionamento do emissário foram levantados com a equipe técnica no local.

Tabela 3.1– Principais características do emissário de Maceió-AL

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Vazão Média	2 M ³ /S
Grades Grosseiras	2 Unidades
Grades finas Mecanizadas	2 Unidades
Comprimento da Tubulação Terrestre	180 Metros
Comprimento da Tubulação Aérea	600 Metros
Comprimento da Tubulação Submersa	2412 Metros
Comprimento da tubulação difusora	408 Metros
Número de portas	136 Unidades
Distância entre as portas	3 Metros
Diâmetro das portas	4 Polegadas
Profundidade dos difusores	15 Metros

Na Figura 3.8 são mostrados os locais que foram visitados no emissário submarino de Maceió-AL.



a- Entrada da EPC



b- Chaminé de equilíbrio



c- Painel de controle das bombas



d- Tubulação aérea

Figura 3.8- Fotos da visita ao emissário submarino de Maceió-AL

3.4.2 Dados de entrada para simulação hipotética do emissário submarino de Maceió-AL

Os dados de entrada para a configuração e simulação no software *Visual Plumes* do estudo de caso do emissário submarino de Maceió-AL são mostrados de forma esquemática na Figura 3.9.

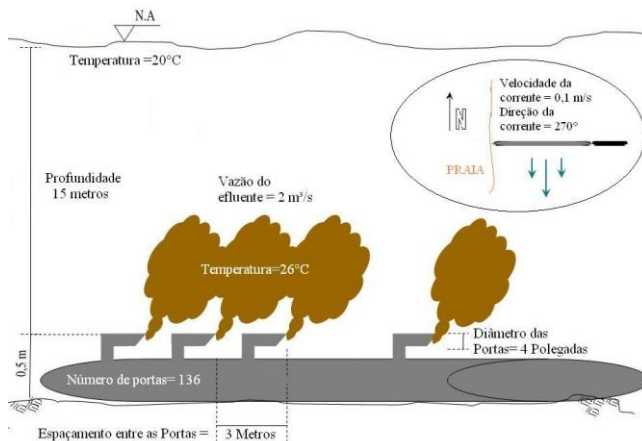


Figura 3.9-Dados para simulação do estudo de caso do emissário de Maceió-AL

Conforme mostrado anteriormente, a aba *Difusser* do *Visual Plumes* (Figura 3.10) é o local onde as principais características do emissário

são configuradas no programa. Os valores desta configuração para o estudo de caso baseados nas informações obtidas na visita de campo são mostradas abaixo:

- (i) Diâmetro do difusor (*Port diameter*) = 4 polegadas (10,16 cm);
- (ii) Ângulo horizontal (*Hor angle*) dos difusores = 0° (perpendicular a linha da praia);
- (iii) Número de portas (*Num of ports*) = 136;
- (iv) Espaçamento entre as portas (*Port spacing*) = 3 m;
- (v) Profundidade desses difusores = 15 m.
- (vi) Profundidade da tubulação (*Port depth*) = 15,5 m
- (vii) Elevação da tubulação (*Port elevation*) = 0,5 m;
- (viii) Vazão = $2\text{m}^3/\text{s}$;
- (ix) Temperatura do efluente (*Effluent temp*) = 26°Celsius ;
- (x) Densidade do efluente (*Effluent density*) = 998 kg/m^3 .

Já na aba *Ambient* (Figura 3.11) os valores referentes às características do ambiente configurados foram:

- (i) Velocidade da corrente (*Current speed*) = $0,1\text{m/s}$;
- (ii) Direção da corrente (*Current direction*) = 270° (norte para sul);
- (iii) Temperatura do ambiente (*Ambient temp*) = 20°Celsius .
- (iv) Densidade da água do mar (*Ambient density*) = 1022 kg/m^3 .

VisualPhumes, Ver. 1.0: U.S. Environmental Protection Agency, ERD-Athens, ORD, 14 August 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: ESTUDO DE CASO MACEIO.vpp.db | Ambient: C:\Documents and Settings\David\Desktop\TCC\ESTUDO DE CASO MACEIO.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Project C:\Documents and Settings\David\Desktop\TCC\EST

Project "F:\ESTUDO DE CASO MACEIO" memo

Ambient file list
Filename Cases
C:\Documents and Settings\David\Desktop\TCC\EST

Alter run go to tab:
☐ Diffuser
☐ Ambient
☐ Special
☒ Text
☐ Graphics

Model Configuration
☐ Brooks for field solution
☐ Graph effective dilution
☐ Average plume boundary
☐ Amb. current vector averaging
☐ Total pollution buildup
☐ Same-levels time-series input

Units Conversion
☒ Convert data
☐ Label only

UM3

Diffuser, Flow, Mixing Zone Inputs

Port diameter	n/r	Port elevation	Vertical angle	Hor. angle	Num of ports	Port spacing	n/r	n/r	n/r	Acidic mix zone	Chronic mix zone	Port depth	Effluent flow	Effluent density(l)	Effluent temp	Effluent conc		
in	m	m	deg	deg	m	s	s	s	s	m	m	m	m ³ /s	kg/m ³	C	kg/kg		
4		0,5	0	0	136	3						100	1000	15,5	2	998	26	100

Parameters for selected row

Fructose number	
Eff. density (kg/m ³)	
Port vel (m/s)	
P.dia (in)	0.1016
P.dia (m)	4.0
Case No.	1

Time Series-Files (optional)

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)					
Time cycling period					
Measurement unit					

Borrow time-series from project: F:\ESTUDO DE CASO MACEIO

Port depth	Effluent flow	Effluent density(l)	Effluent temp	Effluent conc
click for file	click for file	click for file	click for file	click for file

Figura 3.10- Estudo de caso, aba *Diffuser*

VisualPhumes, Ver. 1.0: U.S. Environmental Protection Agency, ERD-Athens, ORD, 14 August 2001

File Edit Models Stop Run Help

Diffuser: ESTUDO DE CASO MACEIO.vpp.db | Ambient: C:\Documents and Settings\David\Desktop\TCC\ESTUDO DE CASO MACEIO.001.db | Special Settings | Text Output | Graphical Output

Ambient Inputs

Measurement	Current	Ambient	Ambient	Background	Pollutant	n/r	n/r	Field
depth or height	depth	depth	depth	depth	depth	depth	depth	diffusion coeff
Extrapolation (m)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Extrapolation (ft)	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant	constant
Measurement unit	m	deg	kg/m ³	C	kg/kg	s ⁻¹	deg	m ^{0.67} /s ²

UM3

Ambient file list
Filename
ESTUDO DE CASO MACEIO

Time-Series Files (optional)

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)								
Cycling period								
File measurement unit								

Borrow time-series files from project: F:\ESTUDO DE CASO MACEIO

Time-series filename	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file	click for file
Time increment (hrs)								
Cycling period								
File measurement unit								

Figura 3.11- Estudo de caso, aba *Ambient*

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mencionado no item 3.3 deste trabalho, para os casos modelados foram obtidos como resultados os valores do diâmetro da pluma, diluição da pluma e distância horizontal da fonte. Na primeira parte deste capítulo, serão mostradas as limitações que ocorreram durante as simulações dos casos em relação aos valores de configuração escolhidos para as rodadas. Na sequência, os resultados gerais (diâmetro da pluma, diluição da pluma e distância horizontal da fonte) entre os dois modelos utilizados (UM3 e NRFIELD) serão comparados sem discriminar os efeitos dos parâmetros variáveis do ambiente e das características do emissário. Num terceiro momento será analisada a influência de cada parâmetro de entrada nos resultados obtidos, comparando o comportamento dos resultados em termos de diâmetro da pluma, diluição da pluma e distância horizontal da fonte com a variação dos parâmetros de entrada do ambiente e do emissário.

Na ultima parte, uma aplicação será realizada na forma de estudo de caso hipotético para o emissário submarino de Maceió-AL.

4.1 Limitações

Para 10 casos hipotéticos que foram simulados, o *software Visual plumes* acusou erros e não forneceu resultados. Esta “quebra” nos modelos ocorreu para os casos 69, 70, 101 e 102 do modelo NRFIELD e para os casos 77, 79, 89, 91, 93 e 95 do modelo UM3 (Tabela 4.1).

Tabela 4.1- Casos que o software *Visual Plumes* acusou erros de dados de entrada

Casos	Resultados		
	Diâmetro da pluma	Diluição	Distância Horizontal da Fonte
77	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
79	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
89	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
91	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
93	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
95	Erro no UM3	Erro no UM3	Erro no UM3
69	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD
70	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD
101	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD
102	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD	Erro no NRFIELD

A Tabela 4.2 mostra as combinações de parâmetros dos casos em que o modelo UM3 acusou erros de dados de entrada. Já a Tabela 4.3 mostra essas combinações para os casos em que o modelo NRFIELD acusou tais erros. Buscando identificar uma explicação para esta “quebra” nestas rodadas, notou-se que para todos os casos mencionados, os erros ocorreram somente quando a velocidade da corrente foi de 0,4 m/s. Após a análise destes resultados foram realizados novos testes com estes casos para cada um dos modelos (UM3 e NRFIELD), porém com uma vazão fixada em 1 m³/s. Nesta nova bateria de testes, todos os casos com erros mencionados rodaram, resultados que não serão mostrados neste trabalho. Novos testes com os mesmos casos e um segundo valor de vazão de 0,2 m³/s, valor mais próximo do valor inicial, foram realizados e novamente os modelos completaram as rodadas de cálculo. Com isso inferiu-se que os modelos com vazão de 0,154 m³/s apresentaram erros devido a incompatibilidades físicas dos parâmetros de entrada, ou seja, provavelmente a velocidade da corrente de 0,4 m/s foi muito intensa em relação a uma pequena vazão do emissário adotada (0,154 m³/s).

Tabela 4.2-Casos em que o modelo UM3 acusou erros de dados de entrada

Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (12m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (45g)	Caso 77
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (12m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (5")	Orient. Port. (45g)	Caso 79
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (18m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (5m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (45g)	Caso 89
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (18m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (5m)	Diâmetro (5")	Orient. Port. (45g)	Caso 91
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (18m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (45g)	Caso 93
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (18m)	Num. Port. (20 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (5")	Orient. Port. (45g)	Caso 95

Tabela 4.3- Casos em que o modelo NRFIELD acusou erros de dados de entrada

Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (12m)	Num. Port. (5 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (45g)	Caso 69
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (45g)	Prof. (12m)	Num. Port. (5 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (90g)	Caso 70
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (90g)	Prof. (12m)	Num. Port. (5 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (45g)	Caso 101
Vel. Corr. (0,4m/s)	Dir. Corr. (90g)	Prof. (12m)	Num. Port. (5 un)	Espac. Port. (10m)	Diâmetro (3")	Orient. Port. (90g)	Caso 102

Levando-se em consideração a verificação de valores de vazão da ordem de grandeza de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ na literatura, decidiu-se continuar a análise dos demais casos com o valor de vazão de $0,154 \text{ m}^3/\text{s}$. Os resultados com erros (ilustrados como falhas nos gráficos a seguir) são justificadas por parâmetros de entrada mal dimensionados para as simulações desses casos e os testes com novos valores de vazão serão explorados em futuras publicações.

4.2 Resultados gerais das simulações hipotéticas com os modelos UM3 e NRFIELD

Os resultados de diâmetro da pluma, diluição da pluma e distância horizontal da fonte dos 128 casos serão mostrados de maneira a comparar os resultados entre os modelos (UM3 e NRFIELD) e elucidar qual modelo apresenta estimativas maiores e menores para cada resultado. Os resultados abaixo não estão discriminando os efeitos dos parâmetros variáveis do ambiente e das características do emissário. A Figura 4.1 mostra os resultados de diâmetro da pluma para o UM3 e o NRFIELD. Cada triângulo azul no gráfico representa uma das 128 simulações para o resultado diâmetro da pluma fornecido pelos modelos UM3 (eixo x) e NRFIELD (eixo y). Conforme podemos observar neste resultado, a maior parte dos triângulos ficou acima da linha diagonal, mostrando que para diâmetro da pluma, o modelo NRFIELD apresentou resultados superestimados para a maior parte das simulações em comparação com o modelo UM3.

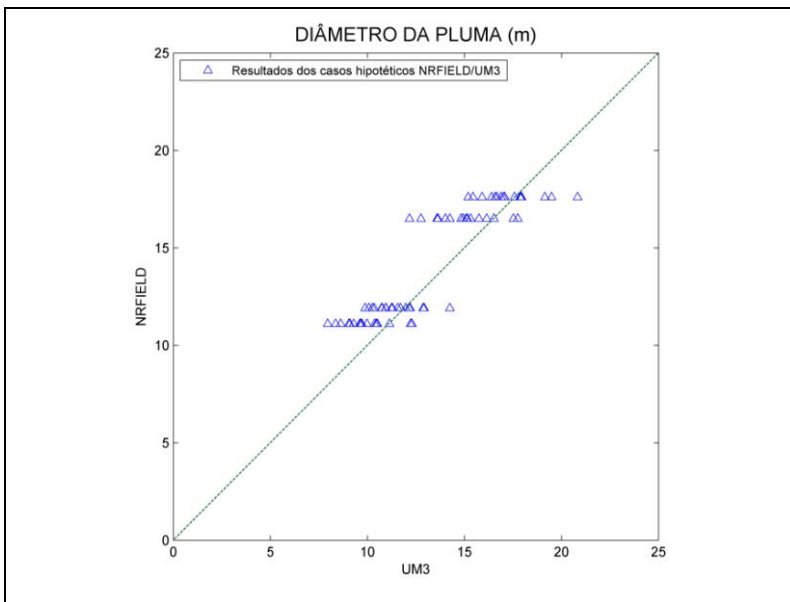


Figura 4.1- Comparação dos resultados gerais do diâmetro da pluma fornecidos pelo UM3 e NRFIELD

A Figura 4.2 mostra os resultados de diluição da pluma para o UM3 e o NRFIELD. Pode-se observar que para todos os 128 casos o modelo UM3 forneceu valores maiores para a diluição da pluma em relação aos resultados obtidos pelo modelo NRFIELD. Este resultado trata de um objetivo importante no dimensionamento de um emissário, que é a diluição da pluma. Deve-se visar à quantificação dos maiores valores apresentados pelo UM3 para se ter uma idéia se esta superestimação é correta ou não. Um projeto baseado em resultados de modelos cuja diluição é superestimada em relação ao que realmente ocorre pode trazer problemas.

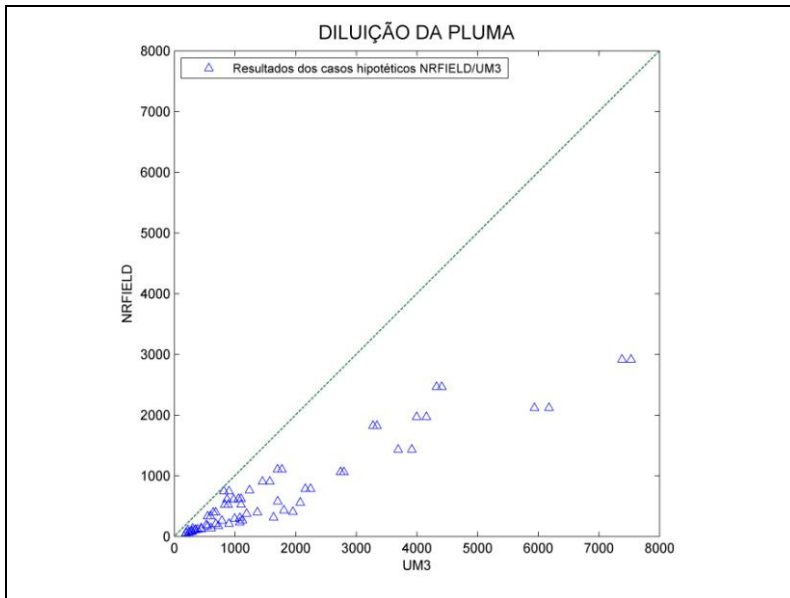


Figura 4.2- Comparação dos resultados gerais do diâmetro da pluma fornecidos pelo UM3 e NRFIELD

A Figura 4.3 mostra que para todos os 128 casos o modelo NRFIELD forneceu valores maiores para a distância horizontal da fonte em relação aos resultados obtidos pelo modelo UM3.

Conforme mencionado no capítulo 2, estudos realizados por Carvalho et al., (2002) compararam resultados das simulações de modelos com medições realizadas em campo para o emissário submarino de esgotos de Ipanema (RJ). Estes estudos mostraram que o NRFIELD apresentou as melhores estimativas da altura terminal alcançada pela pluma ao longo da coluna d'água, resultado que não está sendo avaliado neste trabalho pois assumiu-se de princípio coluna d'água não estratificada.

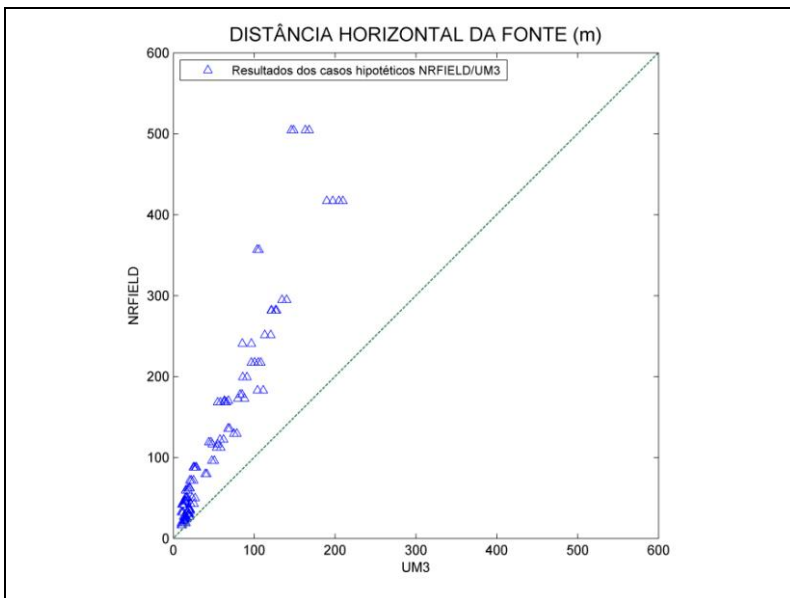


Figura 4.3- Comparação dos resultados gerais da distância horizontal da fonte fornecidos pelo UM3 e NRFIELD

Neste trabalho não será feita uma comparação com dados medidos, portanto as comparações e inferências serão feitas a partir dos resultados dos casos hipotéticos entre os modelos utilizados (UM3 e NRFIELD).

4.3 Resultados gerais do UM3 e NRFIELD considerando parâmetros variáveis

A análise dos resultados a seguir será feita de forma a comparar os resultados gerais fornecidos pelos modelos UM3 e NRFIELD levando em consideração os parâmetros variáveis do ambiente e da configuração do emissário. Seis figuras serão mostradas para cada resultado esperado, sendo três para os resultados do modelo UM3 e três para o NRFIELD. Os resultados esperados são:

- a) Diâmetro da pluma;
- b) Diluição da pluma;
- c) Distância horizontal da fonte;

Para cada resultado esperado (ex: diâmetro da pluma) as três figuras serão mostradas em relação aos três parâmetros do ambiente (velocidade da corrente, direção da corrente e profundidade). Os parâmetros ambientais estarão representados na cor azul para os resultados com menores valores:

- (a) Velocidade da corrente = 0,1m/s;
- (b) Direção da corrente = 45° ;
- (c) Profundidade=12 metros;

E pela cor vermelha para os parâmetros do ambiente que possuem os maiores valores:

- (d) Velocidade da corrente = 0,4m/s;
- (e) Direção da corrente = 90° ;
- (f) Profundidade=18 metros;

Assim, cada figura apresentará a combinação de um resultado esperado (ex: diâmetro da pluma) para uma variação de parâmetro do ambiente (ex: velocidade da corrente) para as quatro configurações possíveis de parâmetro variável de emissário. O eixo x de cada gráfico representa os parâmetros do emissário com o menor valor:

- (g) Diâmetro das Portas = 3 polegadas (7,62 cm);
- (h) Número de Portas =5;
- (i) Espaçamento entre as portas =5 m;
- (j) Direção das portas = 45° ;

O Eixo y representa os parâmetros do emissário com maior valor:

- (k) Diâmetro das Portas = 5 polegadas (12,70 cm);
- (l) Número de Portas =20;
- (m) Espaçamento entre as portas =10 m;
- (n) Direção das portas = 90° ;

Desta maneira uma análise conjunta da influencia dos sete parâmetros de configuração (ambientais e do emissário) nos resultados (diâmetro da pluma, diluição e distancia horizontal da fonte) é possibilitada.

4.3.1 Diâmetro da Pluma-UM3

Seguindo o que foi explicado acima, a Figura 4.4 mostra o resultado de diâmetro da pluma pela variação do parâmetro ambiental velocidade da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s) o diâmetro da pluma foi maior em todos os casos simulados para o diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm). Provavelmente para um diâmetro de porta menor as velocidades de saída do efluente pela porta aumentaram ocasionando em um maior espalhamento e conseqüentemente um maior diâmetro de pluma simulado pelo UM3 para a grande maioria dos casos. Em alguns casos, os valores de diâmetro de pluma são semelhantes para os dois diâmetros de portas simulados. A velocidade da corrente ambiente também influenciou o diâmetro de pluma, onde no geral, os maiores diâmetros de pluma foram encontrados para correntes de 0,4 m/s, mas para diâmetros de portas de 3 polegadas (7,62 cm).

O painel superior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para a menor velocidade de corrente simulada (0,1 m/s) o diâmetro da pluma foi fracamente maior para casos em que o emissário tem maior numero de portas (20) na maior parte dos casos. Em alguns casos com corrente de 0,1 m/s, os diâmetros de plumas foram fracamente maiores para emissários com 5 portas e em outros casos, o diâmetro de plumas foi igual para 5 e 20 portas. Para casos cuja velocidade foi de 0,4 m/s os diâmetros de pluma foram um pouco maiores para emissários com 5 portas para todos os casos simulados pelo UM3. Os maiores valores de diâmetro de plumas encontrados são para emissários de 5 portas com correntes de 0,4 m/s. Porém ressalta-se que as diferenças no diâmetro de plumas é pequena em relação ao numero de portas e a velocidade da corrente parece ser mais importante que o número de portas simulados.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s), o diâmetro da pluma foi menor para casos em que o emissário tem maior espaçamento entre portas (10 m) em relação

ao espaçamento de 5 m para todos os casos simulados. Esse fato provavelmente está ligado a união das plumas emitidas por difusores mais próximos, embora para correntes de 0,1 m/s alguns casos apresentaram o mesmo diâmetro de pluma para ambos os espaçamentos de porta. Novamente a corrente ambiente influenciou conjuntamente o diâmetro da pluma, onde os maiores diâmetros de pluma foram encontrados para os maiores valores de corrente (0,4 m/s).

O painel inferior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de direção das portas. Nesta análise a influencia da direção das portas no diâmetro de plumas é quase que similarmente distribuída entre as direções de portas de 45 e 90 graus. Talvez pelo fato de que o parâmetro ambiental direção da corrente esteja intrinsecamente inserido nestes dados esta influência será melhor percebida quando analisarmos a Figura 4.5, onde o parâmetro ambiental direção da corrente será variado.

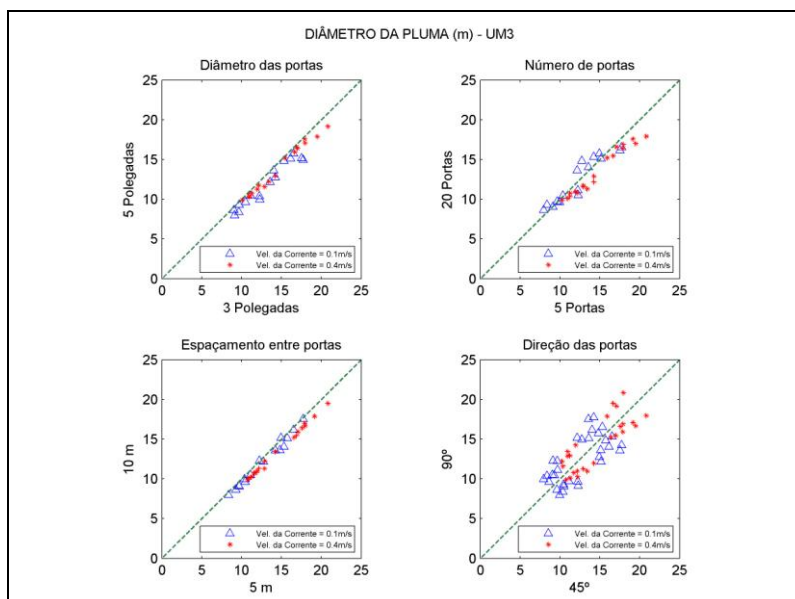


Figura 4.4- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

A Figura 4.5 mostra o resultado de diâmetro da pluma pela variação do parâmetro ambiental direção da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) o diâmetro da pluma foi maior em todos os casos simulados para o diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm). Em alguns casos, os valores de diâmetro de pluma são similares para os dois diâmetros de portas simulados, porém sempre tendendo a ficar abaixo da diagonal que define o menor diâmetro (3 polegadas). Para esta análise, a direção da corrente ambiente não influenciou o diâmetro de pluma, pois os valores de diâmetros de pluma foram quase iguais para os dois valores de direções de corrente simulados (45 e 90 graus). Em relação à direção da corrente, quem governou o tamanho do diâmetro da pluma foi o diâmetro das portas, neste caso o diâmetro de 3 polegadas (7,62 cm).

O painel superior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) o diâmetro da pluma, para a maior parte dos casos, foi fracamente maior para emissário com um menor número de portas (5). Alguns casos, para ambas as direções de corrente, apresentaram diâmetros de plumas fracamente maiores para emissários com 20 portas e em outros casos, o diâmetro de pluma foi semelhante para 5 e 20 portas. A direção das correntes não exerceu importante influencia no diâmetro de pluma nesta análise.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus), o diâmetro da pluma foi menor para casos em que o emissário tem maior espaçamento entre portas (10 m) em relação ao espaçamento de 5 m para a grande maioria dos casos simulados. Nos poucos casos que isto não ocorreu, os valores foram similares para ambos os espaçamentos. Provavelmente este comportamento está ligado a união das plumas emitidas por difusores mais próximos, conforme visto para os casos onde a velocidade da corrente foi analisada e a direção das correntes influenciou muito pouco o diâmetro da pluma se comparado ao espaçamento dos difusores no UM3.

O painel inferior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de direção das portas. Interessante notar que quando a direção da corrente formou um ângulo de 45° com a direção da porta (quando a direção da corrente não é paralela a direção das portas), o diâmetro da pluma foi maior. Como os parâmetros variáveis para o ambiente (direção das correntes) e para o emissário (direção das portas) foram os mesmos (45 e 90 graus), este resultado é quase simétrico, onde os maiores diâmetros de pluma são atingidos para as combinações de direção das portas e direções de correntes de 45 e 90 graus respectivamente ou vice-versa. Isto sugere que a variação do parâmetro ambiental direção da corrente de 45 para 90 graus só provoca alterações significativas para o diâmetro da pluma quando este está ligado a variação do parâmetro do emissário de direção das portas. Assim, direções de portas coincidentes com a direção da corrente reinante provavelmente sejam favoráveis à propagação da pluma nesta mesma direção, mas menos favorável ao espalhamento radial da mesma.

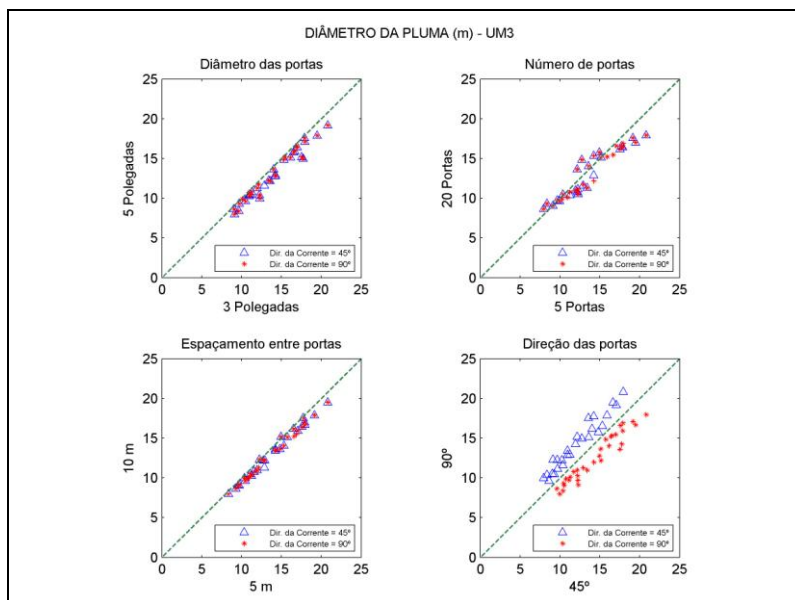


Figura 4.5- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

A Figura 4.6 mostra o resultado de diâmetro da pluma pela variação do parâmetro ambiental profundidade para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela profundidade para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as profundidades simuladas (12 e 18 m), o diâmetro da pluma foi um pouco maior em quase todos os casos com diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm). Em alguns casos os valores de diâmetro de pluma são similares para os dois diâmetros de portas simulados, porém sempre tendendo a ficar abaixo da diagonal que define o menor diâmetro (3 polegadas). Porém, nota-se que a variável que governa fortemente o diâmetro da pluma para esta análise é o parâmetro ambiental profundidade, no qual, os casos que possuem as maiores profundidades são responsáveis pelo maior diâmetro de pluma.

O painel superior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela profundidade com os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para ambas as profundidades simuladas, os maiores valores de diâmetro de pluma estão mais concentrados do lado do menor número de portas (5). Contudo existe ainda uma boa representatividade de casos com maiores diâmetros de pluma para 20 portas. Mesmo com este resultado, ficou evidente nesta análise que, novamente, a profundidade é o parâmetro que está governando o diâmetro de pluma, no qual as maiores profundidades são responsáveis por maiores valores de diâmetro de pluma.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado de diâmetro da pluma pela profundidade para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as profundidades simuladas (12 e 18 m), o maior diâmetro da pluma ficou concentrado para casos em que o emissário tem menor espaçamento entre portas (5 m). Nos pouquíssimos casos que isto não ocorreu, os valores foram similares para ambos os espaçamentos. Novamente infere-se a este comportamento à união das plumas emitidas por difusores mais próximos, conforme visto anteriormente. Faixas de valores de diâmetros de plumas bem definidas para as profundidades simuladas novamente realçam a importância desta variável no resultado diâmetro de pluma modelados no UM3.

O painel inferior direito mostra o resultado de diâmetro da pluma pela profundidade para os parâmetros de direção das portas. Observa-se neste painel que a direção das portas não influenciou significativamente o valor do diâmetro da pluma para nenhuma das direções de portas

simuladas (45 e 90 graus), pois os casos aparecem nos dois lados da diagonal quase que de forma simétrica. Provavelmente o efeito das correntes com direções de 45 e 90 graus intrínsecos neste resultado e discutidos anteriormente estão forçando esta configuração. Assim a influencia da profundidade fica bem destacada na determinação do diâmetro da pluma com o UM3.

Estes resultados sugerem que quanto maior a profundidade maior o espaço para a pluma se espalhar ao longo de sua dispersão, fato que não necessariamente signifique uma maior diluição, resultado da modelagem que será discutido posteriormente neste trabalho.

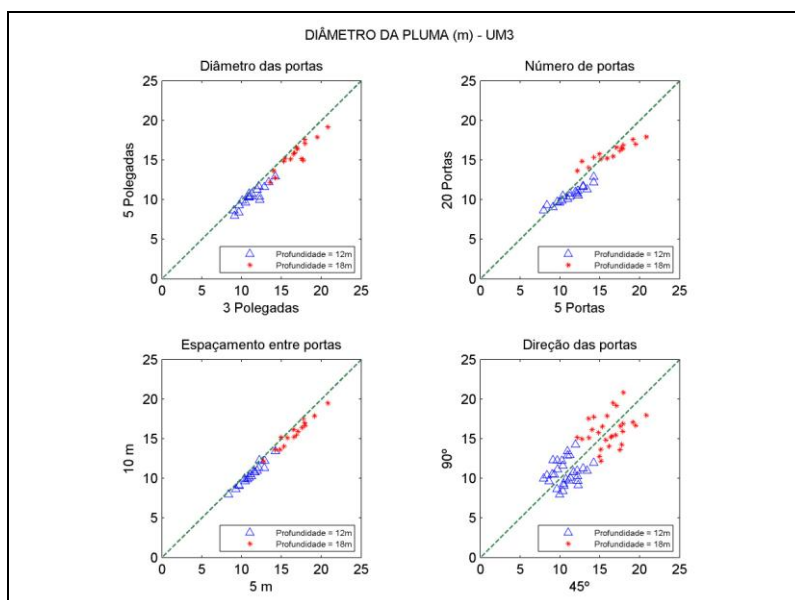


Figura 4.6- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

4.3.2 Diâmetro da Pluma- NRFIELD

Conforme realizado para o modelo UM3, os gráficos das Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram que o resultado de diâmetro da pluma pela variação dos parâmetros ambientais velocidade da corrente, direção da corrente e profundidade para os quatro parâmetros variáveis do emissário obtidos através do modelo NRFIELD. Analisando estas três figuras supracitadas

observou-se um resultado intrigante em um primeiro momento, pois os parâmetros de configuração do emissário não influenciaram o resultado do diâmetro da pluma. Na Figura 4.7 nota-se que nenhum dos parâmetros de emissário fizeram efeito no resultado, determinado pela velocidade das correntes e pela profundidade (intrínseca na análise). Esta última pode ser inferida por 2 concentrações de pares de velocidades diferentes. Na Figura 4.8 pode-se notar que nem a direção da corrente nem tampouco as variáveis de emissário exercem influência no diâmetro da pluma. Mais uma vez a profundidade esta agindo nesta análise imposta intrinsecamente nos dados e influenciando diretamente o resultado do NRFIELD. Já para a Figura 4.9 fica claro que quem governa o resultado de diâmetro da pluma neste modelo é a profundidade, onde o mesmo foi insensível para os demais parâmetros de emissário.

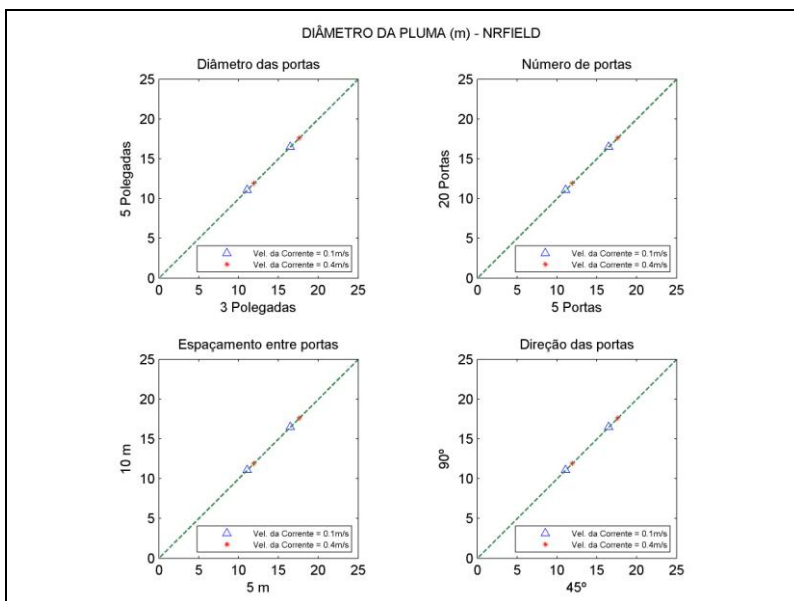


Figura 4.7- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

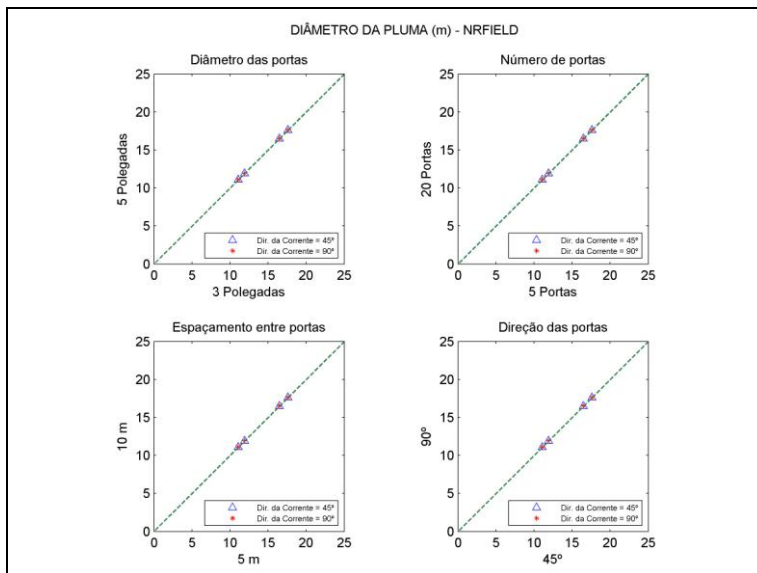


Figura 4.8- Resultado do diâmetro da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

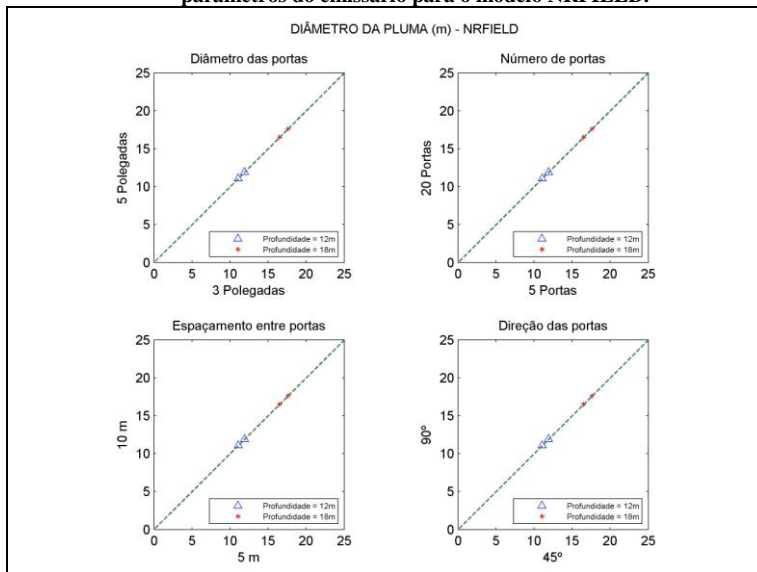


Figura 4.9- Resultado do Diâmetro da pluma variando Profundidade- NRFIELD.

A Figura 4.10 representa bem esta discussão, onde se pode ver o resultado de diâmetro da pluma para todos os casos simulados pelo UM3 e pelo NRFIELD.

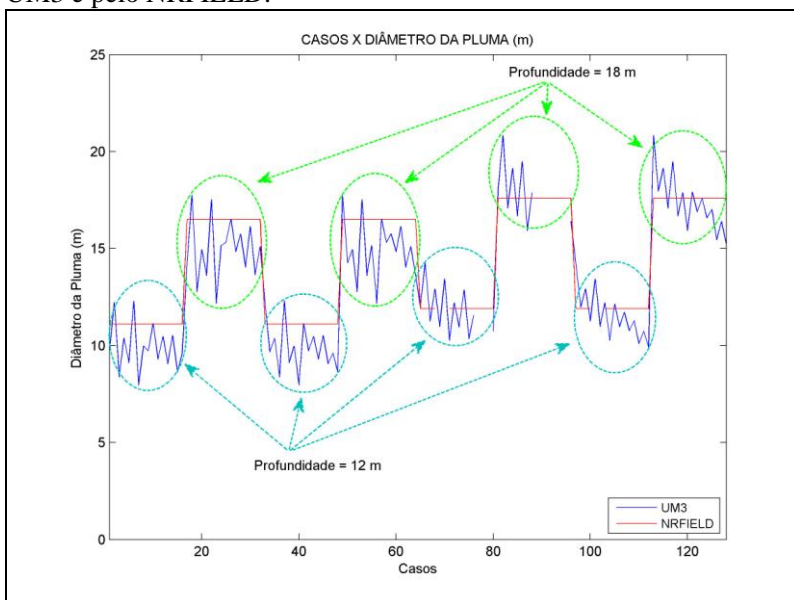


Figura 4.10- Diâmetro da pluma para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.

Na Figura 4.10 é possível ver que os maiores valores de diâmetro de pluma estão relacionados à profundidade para ambos os modelos. O UM3 é sensível as diferentes combinações de variáveis, enquanto o NRFIELD não reconhece estas combinações para calcular o diâmetro da pluma, principalmente os parâmetros de emissário, conforme visto antes. A faixa de valores encontrada para o diâmetro da pluma nas simulações com o modelo UM3 foi da mesma ordem de grandeza do NRFIELD. O UM3 apresentou um diâmetro máximo da pluma de 20,83 m, enquanto que o NRFIELD apresentou esse valor máximo igual a 17,59 m. Para os valores mínimos, o UM3 apresentou 7,96 m enquanto que o NRFIELD mostrou 11,09 m. Os resultados para diâmetro da pluma conjuntamente analisadas entre os dois modelos variam de 16 em 16 casos. Do caso 1 ao 16, 33 ao 48, 65 ao 79 e 97 ao 112 os valores para o diâmetro da pluma estão na faixa de 7,96 a 14,25 metros e para os casos 17 ao 32, 49 ao 64, 80 ao 96 e 113 ao 128 esses valores estão na

faixa de 10,74 a 20,83 metros, relacionadas com as profundidade de 12 m e 18 m respectivamente.

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram os parâmetros variáveis do ambiente e do emissário respectivamente, por ordem de maior influência no diâmetro da pluma simulada pelo modelo UM3. Na Figura 4.11 pode-se notar a grande influencia da variação de profundidade, seguida da velocidade da corrente e da direção da mesma. Pela Figura 4.12 observa-se que os parâmetros de emissário diâmetro de portas, número de portas e espaçamento entre as portas exercem influências no diâmetro da pluma com ordem de grandeza semelhante (Direção das portas não esta sendo mostrada aqui). Na figura é possível visualizar a diferença da influencia destes parâmetros para cada caso simulado como UM3. Esta análise não é mostrada para o modelo NRFIELD devido à insensibilidade mostrada por este modelo aos parâmetros de configuração, principalmente os parâmetros de emissário.

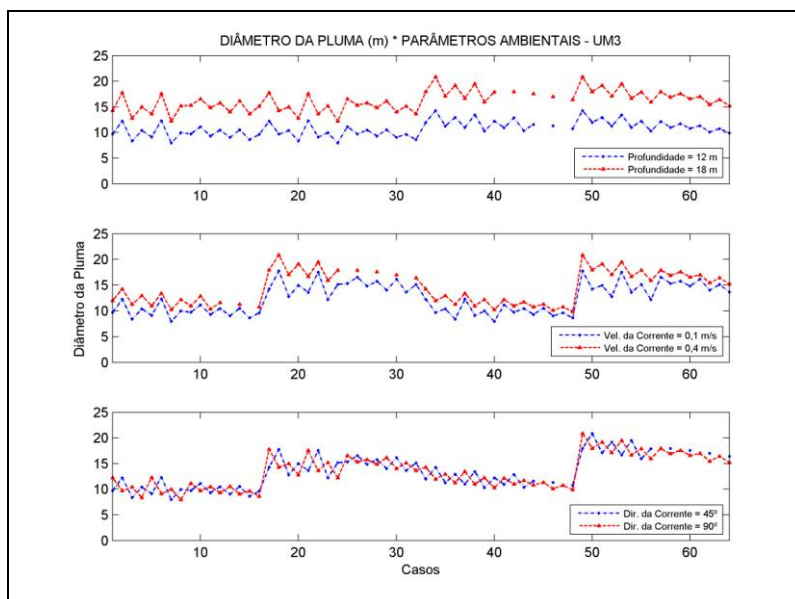


Figura 4.11- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência no diâmetro da pluma modelado pelo modelo UM3.

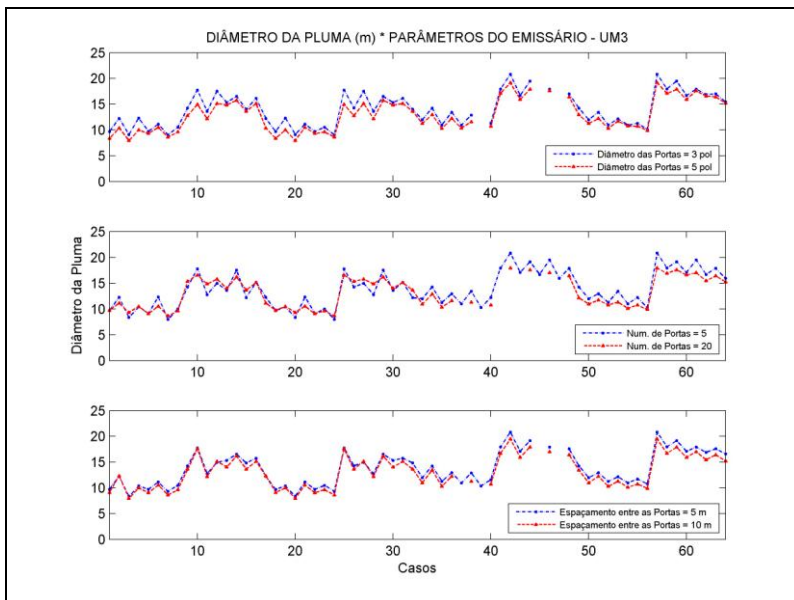


Figura 4.12- Parâmetros variáveis do emissário que influenciam no diâmetro da pluma simulada pelo modelo UM3.

4.3.3 Diluição da Pluma-UM3

A diluição da pluma será analisada conforme realizado para o diâmetro da pluma. A Figura 4.13 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental velocidade da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado de diluição da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s) o diâmetro da pluma foi ligeiramente maior em todos os casos simulados para o diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm). Com o menor diâmetro de porta as velocidades de saída do efluente pela porta aumentaram ocasionando um maior espalhamento e conseqüentemente uma maior diluição da pluma para todos os casos. Ficou bem nítido neste painel que a velocidade da corrente ambiente também influenciou a diluição da pluma, onde valores bem maiores de diluição da pluma foram encontrados para correntes de 0,4 m/s.

O painel superior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s), a diluição da pluma foi significativamente maior para todos os casos em que o emissário tem maior número de portas (20). Novamente a velocidade se mostra um parâmetro ambiental muito importante na diluição da pluma. Nos casos cuja velocidade foi de 0,4 m/s os valores de diluição foram maiores para quase todos os casos simulados pelo UM3.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da diluição da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s), a diluição da pluma foi maior para casos em que o emissário tem maior espaçamento entre portas (10 m) em relação ao espaçamento de 5 m para todos os casos simulados. O maior espaçamento entre portas contribui dificultando a união de plumas das portas, que resulta em uma menor concentração, que por sua vez favorece uma maior diluição. A corrente ambiente claramente tem forte influência na diluição da pluma, onde as maiores diluições foram encontradas para os maiores valores de velocidade de corrente (0,4 m/s) nesta análise. A combinação entre um maior número de portas e um maior espaçamento entre as portas resulta em maiores diluições da pluma.

O painel inferior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de direção das portas. Assim como aconteceu na análise dos resultados do diâmetro da pluma, a influência da direção das portas na diluição de plumas é quase que similarmente distribuída entre as direções de portas de 45 e 90 graus para valores da ordem de 2000. Valores de diluição maiores que 2000 são encontrados para velocidade da corrente igual 0,4 m/s e direção das portas de 90°. Na Figura 4.14, onde o parâmetro ambiental direção da corrente é variado esses resultados serão melhores analisados.

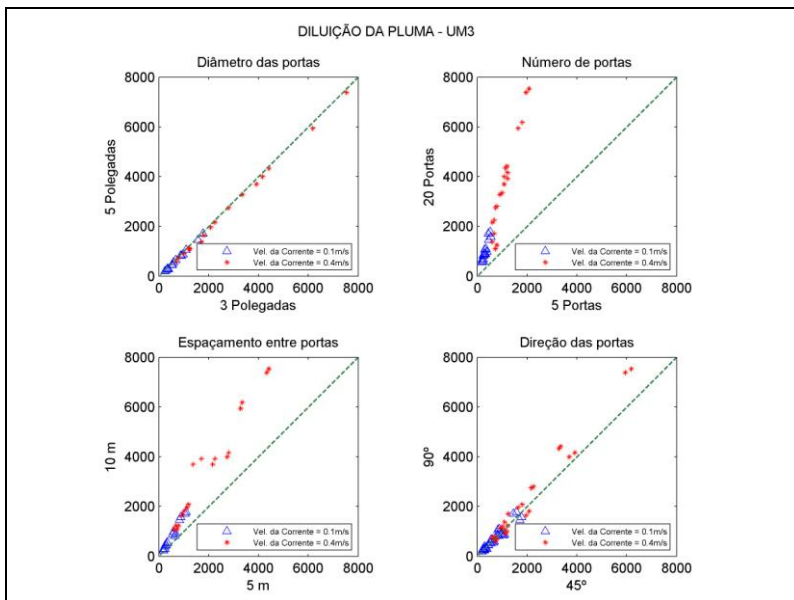


Figura 4.13- Resultado da diluição da pluma pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

A Figura 4.14 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental direção da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado da diluição da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) a diluição da pluma foi maior em todos os casos simulados para o diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm). Para esta análise, a direção da corrente ambiente não influenciou a diluição da pluma, pois os valores da diluição da pluma foram semelhantes para os dois valores de direções de corrente simulados. Mais uma vez é possível visualizar o efeito, embora pequeno, do diâmetro de portas na diluição da pluma, novamente com maior diluição relacionadas ao diâmetro de 3 polegadas (7,62 cm). A interpretação é a mesma feita para o diâmetro da pluma, onde um diâmetro de porta menor acarreta em maiores velocidades de saída do efluente pela porta, ocasionando assim, um maior espalhamento e conseqüentemente uma maior diluição da pluma para todos os casos. Ressalta-se que a diferença de valores de diluição para diâmetros de

portas de 3 e 5 polegadas não é muito significativo, o que sugere que as diferenças de valores testados para este parâmetro de emissário (diâmetro de porta) também não são muito diferentes levando em consideração os efeitos gerais na pluma.

O painel superior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) a diluição da pluma, em todos os casos, foi maior para emissário com um maior número de portas (20). A direção das correntes não exerceu influência significativa na diluição da pluma nesta análise. As diferenças da diluição para cada direção de corrente devem ser explicadas pela interação com outras variáveis que não são explicitas nesta análise, como exemplo a direção de portas.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da diluição da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) a diluição da pluma foi maior para todos os casos em que o emissário tem maior espaçamento entre portas (10 m). A direção das correntes não exerceu importante influencia na diluição da pluma nesta análise, no entanto, assim como foi visto na Figura 4.13, o espaçamento entre as portas maiores geram maiores diluições da pluma, assim como o maior número de portas.

O painel inferior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela direção da corrente para os parâmetros de direção das portas. Quando a direção da corrente tem o mesmo sentido da direção da porta, a diluição da pluma é levemente maior para a maioria dos casos, embora até valores de diluição da ordem de grandeza de 2500 esta diferença não é muito significativa, visto que os resultados dos casos se concentram próximos ou na linha diagonal que divide as direções de porta de 45 e 90 graus. Valores de diluição que vão de 3000 a 8000 tem que ser avaliados com cautela, pois aparentam ser “outliers” ou o resultado de combinações de parâmetros que levam a diluições muito extremas, resultado que seria interessante se levado em consideração a saúde do meio ambiente receptor da pluma, mas não necessariamente real.

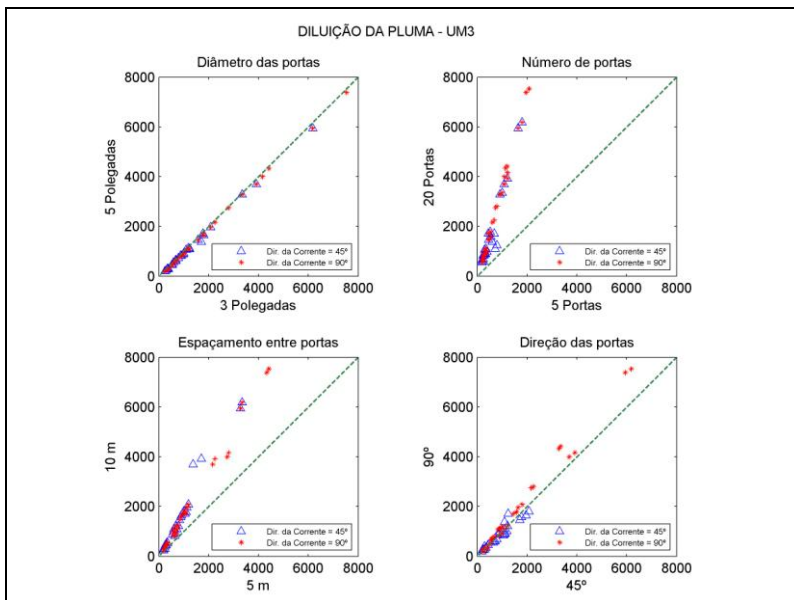


Figura 4.14- Resultado da diluição da pluma pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

A Figura 4.15 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental profundidade para os quatro parâmetros variáveis do emissário. A diluição da pluma pela profundidade para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor (painel superior esquerdo) mostra que, para ambas as profundidades simuladas (12 e 18 m), a diluição da pluma foi levemente maior para o diâmetro de porta de 3 polegadas (7,62 cm) em todos os casos simulados. A influência do parâmetro ambiental profundidade na diluição da pluma não foi bem definido no UM3, visto que valores altos de diluição ocorreram para menores profundidades e vice-versa. Contudo os valores extremos de diluição estão relacionados a maiores profundidades.

O painel superior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela profundidade com os parâmetros de número de portas (difusores). Este painel mostra que para ambas as profundidades simuladas, os maiores valores da diluição da pluma estão concentrados do lado do maior número de portas (20). Novamente a influência da profundidade na diluição da pluma não ficou muito clara, mas os valores extremos de diluição estão relacionados a profundidade de 18m.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da diluição da pluma pela profundidade para os parâmetros de espaçamento entre portas. Este painel mostra que para ambas as profundidades simuladas (12 e 18 m), as maiores diluições da pluma ficaram concentradas nos casos em que o emissário tem maior espaçamento entre portas (10 m), embora em alguns poucos casos o espaçamento não foi relevante. Fica assim cada vez mais evidente a importante influência do espaçamento entre as portas e também do número de portas na diluição da pluma.

O painel inferior direito mostra o resultado da diluição da pluma pela profundidade para os parâmetros de direção das portas. Assim como aconteceu na análise da diluição para a velocidade e para a direção da corrente, para a profundidade a influência na diluição da pluma causada pela direção das portas é quase que similarmente distribuída entre as direções de 45 e 90 graus. Os valores mais extremos de diluição estiveram associados à direção de 90°, porém estes valores ocorreram para ambas as profundidades modeladas no UM3 (12 e 18 m).

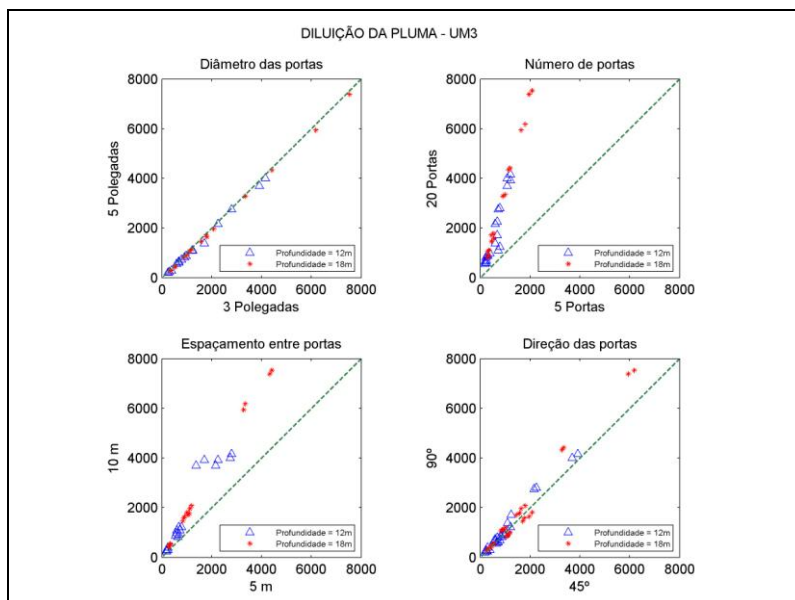


Figura 4.15 - Resultado da diluição da pluma pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

4.3.4 Diluição da Pluma- NRFIELD

A Figura 4.16 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental velocidade da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário obtidos através do modelo NRFIELD. O painel superior esquerdo da Figura 4.16 mostra o resultado de diluição da pluma pela velocidade da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Este painel mostra que para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s) a diluição da pluma não foi influenciada pelo diâmetro de porta no NRFIELD. Contudo observa-se que a velocidade da corrente ambiente influenciou a diluição da pluma, onde valores maiores de diluição são encontrados para correntes de 0,4 m/s, apesar deste valor de velocidade também estar relacionado com valores mais baixos de diluição.

O painel superior direito da Figura 4.16 mostra o resultado de diluição da pluma pela velocidade da corrente para os números de portas (difusores). Para esta análise o resultado do NRFIELD teve comportamento semelhante ao UM3. Para ambas as velocidades simuladas (0,1 e 0,4 m/s), a diluição da pluma foi maior para o maior número de portas (20) para todos os casos. A maior velocidade (0,4 m/s) resultou na maior faixa de valores para diluição. O mesmo padrão ocorreu para a diluição da pluma pela velocidade da corrente e o espaçamento entre portas (Figura 4.16, painel inferior esquerdo), onde maiores valores de diluição ocorreram para o espaçamento entre portas de 10 m para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s). As maiores diluições foram encontradas para os maiores valores de velocidade de corrente (0,4 m/s). Conforme visto para o UM3, a diluição no NRFIELD também é fortemente influenciada pela combinação entre o número de portas e o espaçamento entre as portas.

Para a diluição da pluma pela velocidade da corrente em relação a direção das portas calculadas pelo NRFIELD (painel inferior direito da Figura 4.16) a influência da direção das portas na diluição teve papel pouco significativo, semelhantemente ao que foi visto para o UM3. A velocidade da corrente de 0,4 m/s esta relacionada aos maiores valores de diluição.

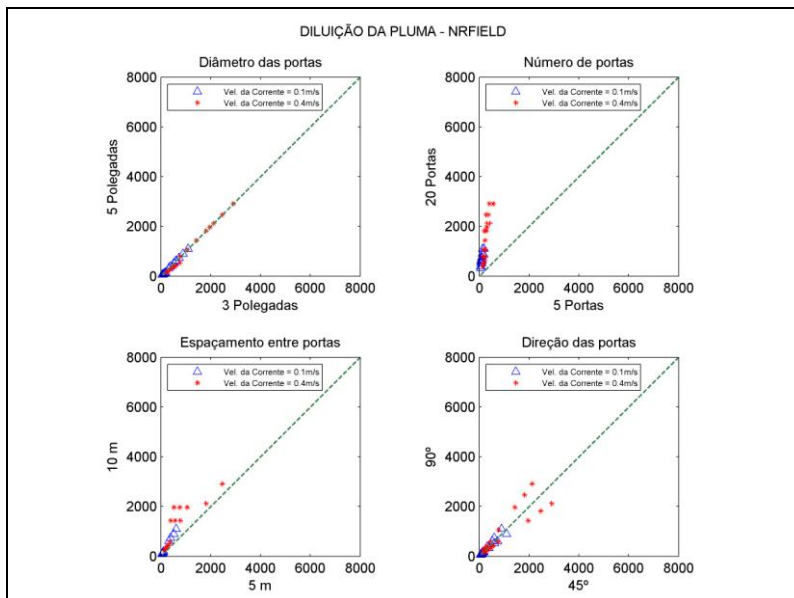


Figura 4.16- Resultado da diluição da pluma pela variação da velocidade da corrente e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

A Figura 4.17 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental direção da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo da Figura 4.17 mostra o resultado de diluição da pluma pela direção da corrente para o diâmetro de porta do difusor. Neste painel pode-se notar que nem a direção da corrente nem tampouco o diâmetro das portas exercem influencia na diluição da pluma no NRFIELD. O painel superior direito da Figura 4.17 mostra o resultado de diluição da pluma pela direção da corrente para os números de portas (difusores). A diluição da pluma foi maior para o maior número de portas (20) para todos os casos, porém o efeito da variação da direção da corrente não foi significativo.

Um padrão semelhante ocorreu para a diluição da pluma pela direção da corrente e o espaçamento entre portas (Figura 4.17, painel inferior esquerdo), onde maiores valores de diluição ocorreram para o espaçamento de 10 m entre portas para ambas as direções de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s). Para uns poucos casos a direção da corrente exerceu uma pequena influencia no valor da diluição, porém o efeito deste parâmetro não foi significativo de maneira generalizada.

Para a diluição da pluma pela direção da corrente em relação à direção das portas (painel inferior direito da Figura 4.17), nota-se que os maiores valores de diluição relacionados a uma direção de corrente específica tendem para o lado da direção de porta de mesmo sentido. Como exemplo, os valores de maior diluição influenciados por correntes de 45° estão do lado da direção de portas de 45° . Os resultados são praticamente simétricos, mostrando de uma maneira geral a diluição é aumentada quando a corrente viaja no mesmo sentido da orientação da porta do emissário no NRFIELD. Este resultado é semelhante ao encontrado para diluição pelo UM3, porém bem mais definido no NRFIELD.

Este resultado é interessante visto que a diluição muitas vezes é relacionada com o maior diâmetro da pluma, o que, conforme já observado anteriormente, não é necessariamente verdade. Na análise para o diâmetro da pluma com modelos UM3 viu-se que, quando uma direção de corrente (45°) combinava-se com uma direção de porta diferente (90°), obtinha-se um maior valor do diâmetro da pluma. Este resultado muitas vezes é associado com uma maior diluição por passar uma idéia de maior turbulência devido ao fluxo da corrente ter direção diferente do jato de emissão do efluente e de que um maior diâmetro de pluma indicaria maior distância da fonte e conseqüente maior diluição. Para diluição ocorre ao contrário da situação acima, conforme visto para o UM3 e o NRFIELD. Um exemplo para a diferença entre diâmetro de pluma e diluição ocorre quando o diâmetro da pluma por vezes é amplificado por duas plumas interagindo quando o espaçamento de portas é próximo e a direção da corrente é diferente da direção das portas. Esta situação aumenta o diâmetro das plumas e favorece a interação entre duas ou mais plumas, que por sua vez favorece o aumento da concentração do efluente ao invés de aumentar a diluição.

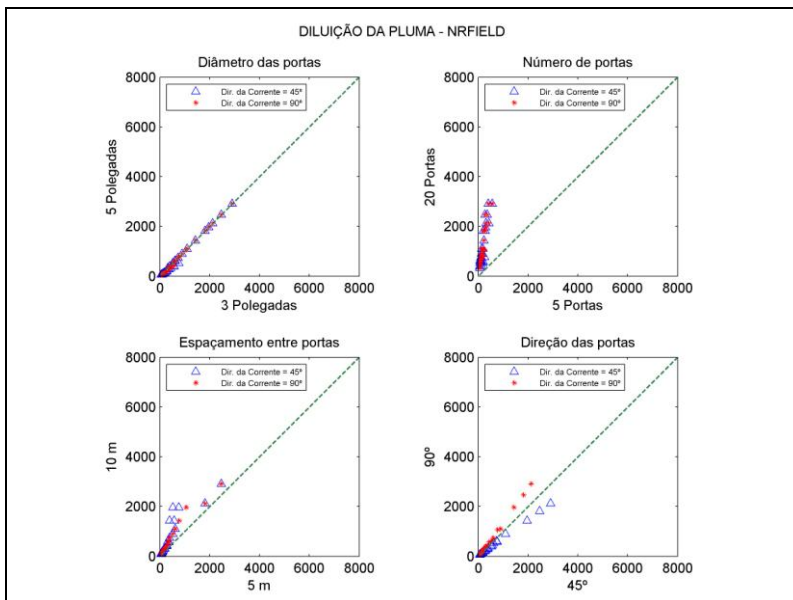


Figura 4.17- Resultado da diluição da pluma pela variação da direção da corrente e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

A Figura 4.18 mostra o resultado da diluição da pluma pela variação do parâmetro ambiental profundidade para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra a diluição da pluma pela profundidade para o diâmetro de porta do difusor. Neste painel pode-se notar que o diâmetro das portas não exerce influencia na diluição da pluma no NRFIELD. Já a profundidade combinada com outros parâmetros influencia a diluição. Profundidades maiores (18 m) não necessariamente são responsáveis pela maior diluição, porém a maior diluição de todos os casos ocorre para profundidades de 18 m.

O painel superior direito da Figura 4.18 mostra o resultado de diluição da pluma pela profundidade para os números de portas (difusores). A diluição da pluma foi claramente maior para 20 portas para todos os casos. Os resultados dos casos de diluição se distribuíram em duas faixas de valores, uma para cada profundidade, onde os maiores valores de diluição foram atribuídos a 18 m. Valores altos de diluição ocorreram também para 12 metros, assim como valores baixos para 18, indicando mais uma vez que a profundidade não influencia a diluição isoladamente.

A diluição da pluma pela profundidade com relação ao espaçamento entre portas (Figura 4.18, painel inferior esquerdo), foi maior para o espaçamento de 10 m entre portas para ambas as profundidades simuladas (12 e 18 m). Em alguns casos simulados em profundidade de 12 metros, a diluição para espaçamento de 10 m entre portas foi significativamente maior que para 5 m.

A diluição da pluma pela profundidade em relação à direção das portas (painel inferior direito da Figura 4.18) pouca influencia na diluição em alguns casos ou nenhuma em outros. Nos casos onde esta influencia é mais significativa os valores são distribuídos simetricamente para o lado de direções de portas de 45° e 90°. Novamente nota-se que a profundidade influencia valores de diluição quando em conjunto com o efeito de outras variáveis intrínsecas, mas não identificadas na análise.

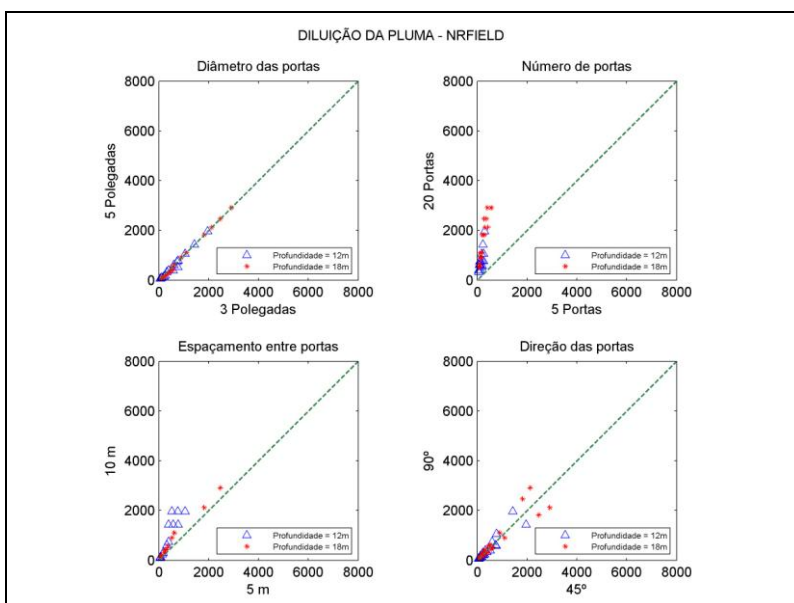


Figura 4.18- Resultado da diluição da pluma pela variação da profundidade e de parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

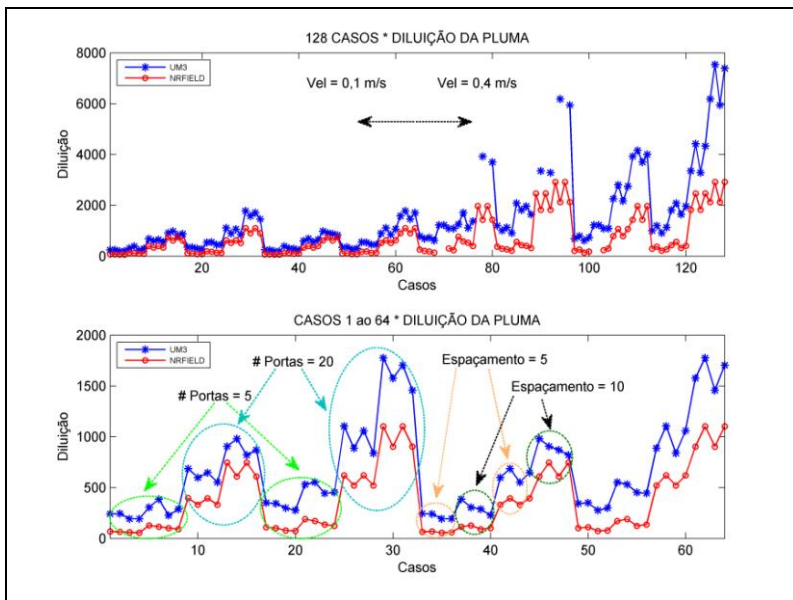


Figura 4.19- Diluição da pluma para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.

A Figura 4.19 mostra resultados da diluição da pluma para todos os casos simulados pelo UM3 e pelo NRFIELD variando em relação a velocidade da corrente, seguido do número de portas e do espaçamento entre portas. No painel superior é possível ver de maneira generalizada que ambos os modelos apresentam comportamento semelhante para da diluição da pluma, no qual o aumento da velocidade da corrente de 0,1 para 0,4 m/s acarreta nos maiores valores de diluição para ambos os modelos. O painel inferior é uma ampliação dos resultados da diluição para os primeiros 64 casos, que mostra de forma mais detalhada o padrão em que os valores de diluição variaram nos dois modelos utilizados em relação ao número de portas e espaçamento entre portas. O parâmetro número de portas muda a faixa de valores de diluição a cada 8 casos. Já a cada 4 casos se tem uma faixa de valores definidas pelo espaçamento entre portas. Assim, quanto maior o espaçamento entre as portas, para o mesmo valor de número de portas, maior o diâmetro da pluma. Exemplificando, do caso 4 ao caso 8 os valores de diluição são maiores que o caso 1 ao caso 4, mas menores que os valores do caso 8 ao caso 12, pois nestes últimos o número de portas passou a ser 20.

De modo geral, a faixa de valores encontrada para a diluição da pluma nas simulações com o modelo UM3 foi maior que a da obtida no modelo NRFIELD. O UM3 apresentou uma diluição máxima da pluma de 7533 (um valor bem extremo) enquanto que o NRFIELD apresentou valor máximo igual a 2914. Para os valores mínimos, o UM3 apresentou 193 enquanto que o NRFIELD mostrou 55.

As Figuras 4.20 e 4.21 mostram os parâmetros variáveis do ambiente e do emissário respectivamente, por ordem de maior influência na diluição da pluma simulada pelo modelo UM3. Na Figura 4.20 pode-se notar a grande influência da variação de velocidade da corrente, seguida da profundidade. Já na Figura 4.21 observa-se que os parâmetros do emissário número de portas e espaçamento entre as portas exercem grande influência nos resultados da diluição da pluma.

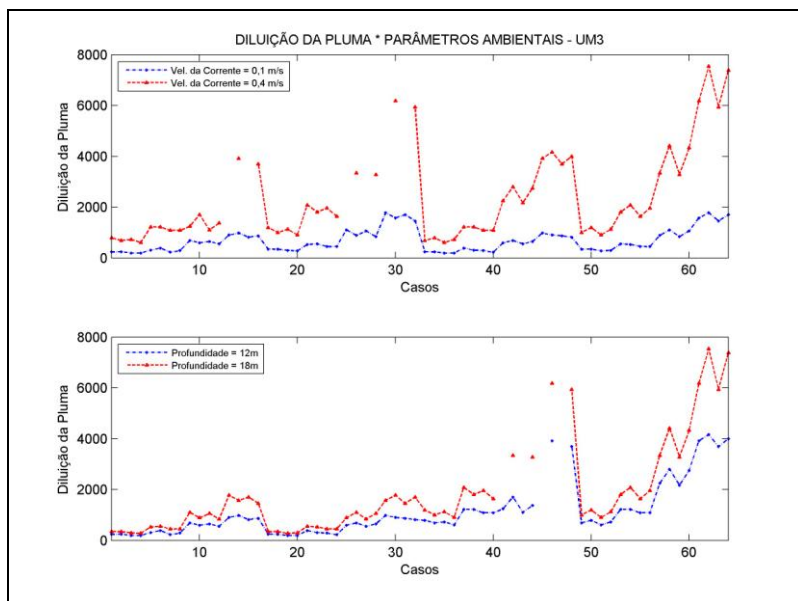


Figura 4.20- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo UM3.

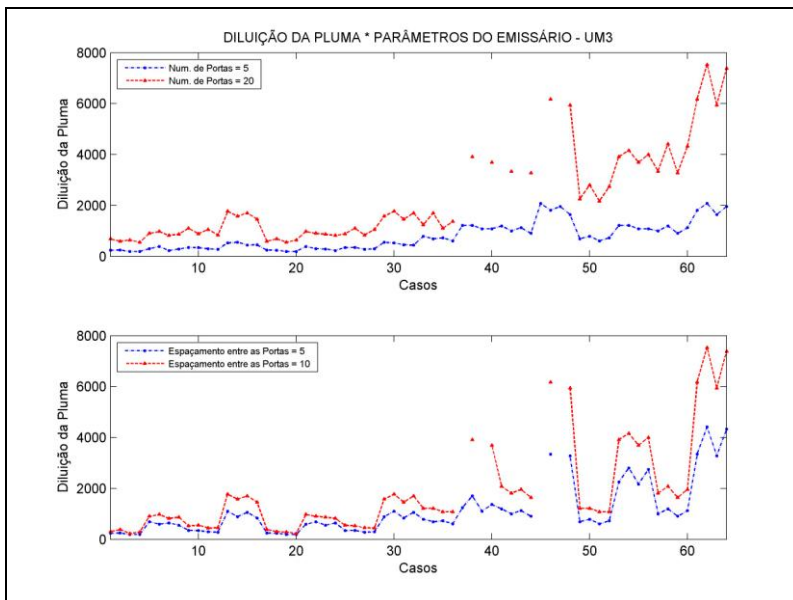


Figura 4.21- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo UM3.

As Figuras 4.22 e 4.23 mostram os parâmetros variáveis do ambiente e do emissário respectivamente, por ordem de maior influência na diluição da pluma simulada pelo modelo NRFIELD. Em concordância com o UM3, pode-se notar a grande influência da variação de velocidade da corrente, seguida da profundidade na diluição da pluma calculada pelo NRFIELD. Pela Figura 4.23 observa-se que os parâmetros do emissário número de portas e espaçamento entre as portas, simulados no NRFIELD, também mostraram influência nos resultados da diluição da pluma.

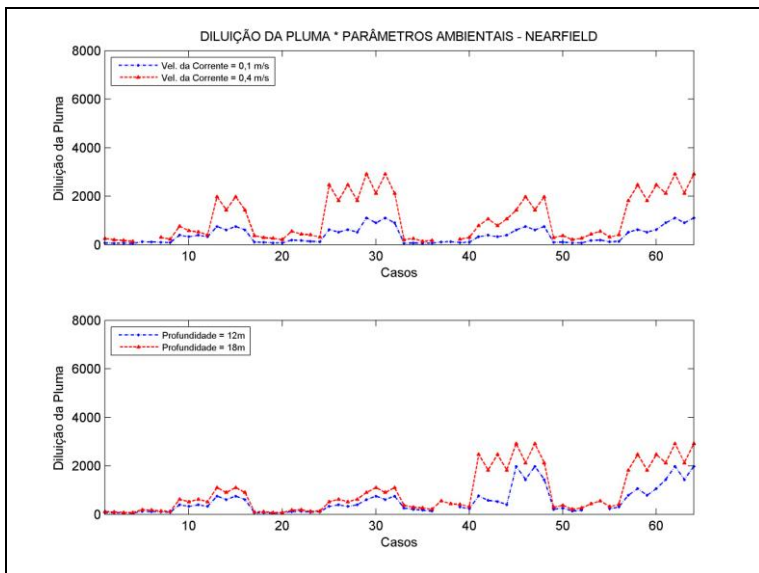


Figura 4.22- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo NRFIELD.

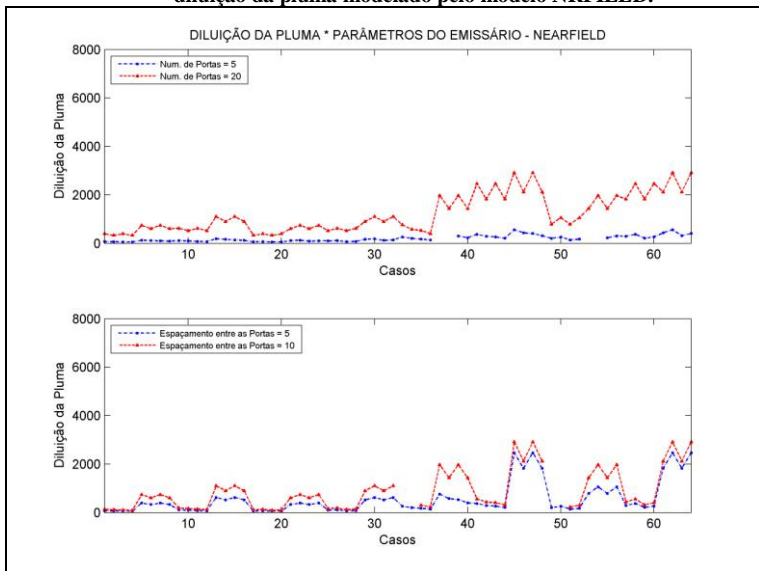


Figura 4.23- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na diluição da pluma modelado pelo modelo NRFIELD.

4.3.5 *Distância Horizontal da Fonte-UM3*

A Figura 4.24 mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para os quatro parâmetros variáveis do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Para ambas as velocidades de corrente simuladas (0,1 e 0,4 m/s) a distância horizontal em que a pluma se afasta da fonte não é influenciada pelo diâmetro de porta. A velocidade da corrente ambiente foi o parâmetro governante neste resultado onde as maiores distâncias horizontais da fonte foram encontrados para correntes de 0,4 m/s.

O painel superior direito mostra a distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para o número de portas (difusores). Este painel mostra que a distância horizontal da fonte foi maior para todos os casos com 20 portas para ambas as velocidades de corrente simuladas, replicando que a velocidade de 0,4 m/s esteve associada as maiores distâncias horizontais da fonte simuladas pelo UM3.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para o espaçamento entre portas. As distâncias horizontais da fonte foram levemente maiores para casos com espaçamento de 10 m. Novamente a velocidade da corrente mostrou-se dominante na determinação da distancia horizontal alcançada pela pluma. O painel inferior direito mostra a distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para a direção das portas. A influência da direção das portas na distância horizontal da fonte é praticamente nula. Todos esses resultados acima sugerem que quanto maior o parâmetro velocidade da corrente (0,4m/s), maior a distância horizontal da fonte.

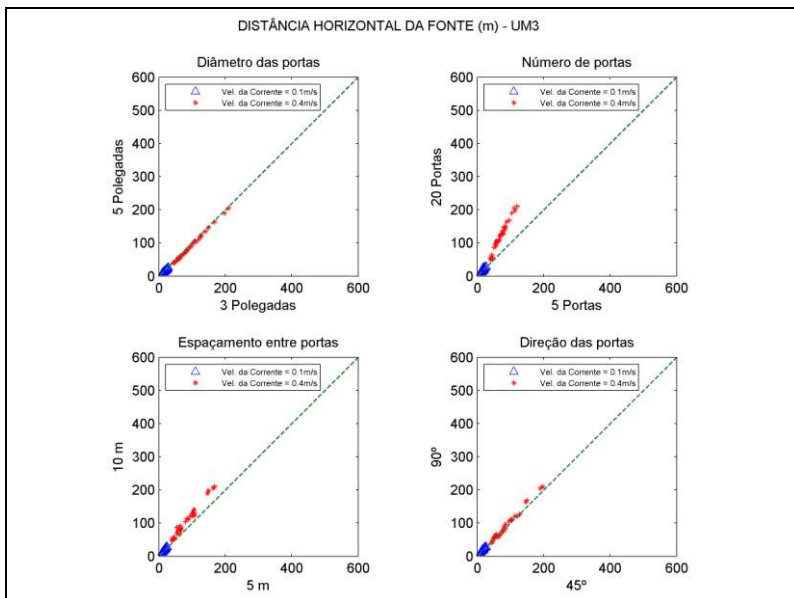


Figura 4.24- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

A Figura 4.25 mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente para os parâmetros do emissário. O painel superior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela direção da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Assim como nos resultados mostrados na Figura 4.24, a distância horizontal da fonte é indiferente a variações dos valores de diâmetro de porta usados neste trabalho (3 e 5 polegadas). O painel superior direito mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela direção da corrente para o número de portas (difusores), mostrando que simulações com 20 portas tiveram as maiores distâncias para todos os casos e as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) tiveram influência pouco significativa no resultado. O painel inferior esquerdo mostra a distância horizontal da fonte pela direção da corrente para o espaçamento entre portas. Para ambas as direções de corrente simuladas (45 e 90 graus) a distância horizontal da fonte foi fracamente maior para casos em que o emissário teve maior espaçamento entre portas de 10 m. O painel inferior direito mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para a direção das portas, no qual a

influência da variação da direção das portas na distância horizontal da fonte é praticamente nula. Um resultado interessante é que, para todos esses resultados de distancia horizontal por direção da corrente, os maiores valores para as distâncias horizontais da fonte foram encontrados nos casos em que a direção da corrente é 90°.

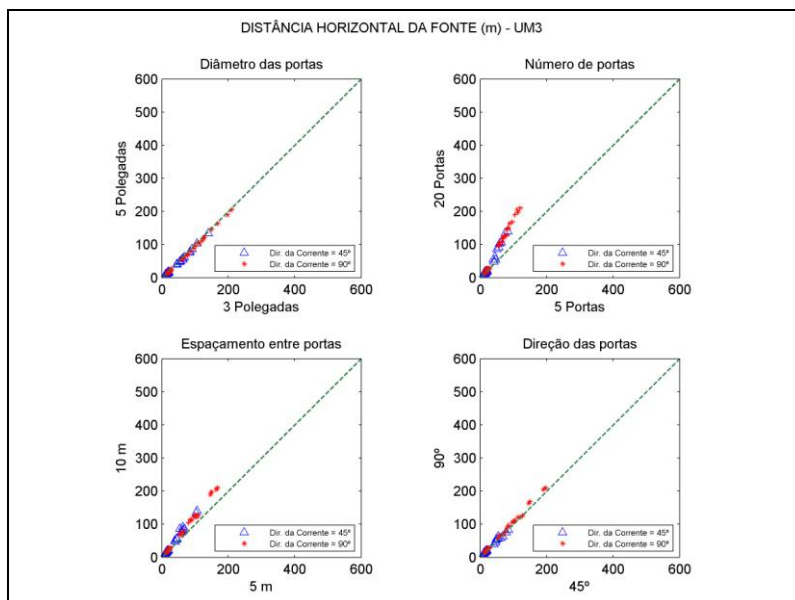


Figura 4.25- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

Na Figura 4.26 a variação da distância horizontal da fonte pela variação dos parâmetros ambientais (neste caso a profundidade) e do emissário segue padrões de distribuição semelhantes aos analisados nas Figuras 4.24 e 4.25. Fica claro que a maior profundidade influencia o resultado retribuindo com os maiores valores de distancia horizontal da fonte e os parâmetros de emissário de maior importância são o numero de portas e seqüencialmente o espaçamento entre as mesmas. Com o maior número de portas e maior espaçamento tem-se a maior distância horizontal.

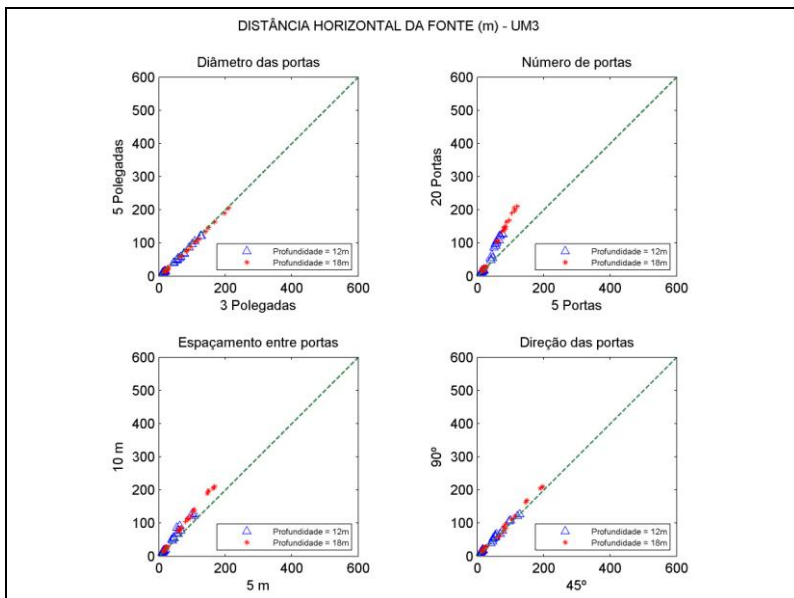


Figura 4.26- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo UM3.

4.3.6 Distância Horizontal da Fonte- NRFIELD

Conforme metodologia aplicada para toda análise de resultados neste trabalho, os gráficos das Figuras 4.27 a 4.29 mostram a distância horizontal da fonte pela variação da velocidade da corrente, direção da corrente e profundidade respectivamente em relação aos parâmetros do emissário obtidos através do modelo NRFIELD. O painel superior esquerdo (Figura 4.27) mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para os parâmetros de diâmetro de porta do difusor. Para a velocidade de corrente de 0,1 m/s o diâmetro da porta não exerceu influencia significativa na distancia horizontal calculada pelo NRFIELD. Porém para 0,4 m/s nota-se que uma parte de resultados referente a alguns casos se concentraram no lado do diâmetro de 3 polegadas, enquanto que o valores maiores de distância horizontal também estavam relacionados a 0,4 m/s, mas nestes casos a influência do diâmetro de porta foi praticamente nula. Este é um resultado interessante no entendimento do NRFIELD, que se mostrou insensível a variações de diâmetro de portas para diâmetro de pluma e diluição,

porem apresentou sensibilidade a este parâmetro de emissário para a distância horizontal da fonte.

O painel superior direito mostra a distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para o número de portas (difusores). Este painel mostra a nítida influência da velocidade da corrente na distância horizontal em que a pluma se afasta da fonte, com maiores valores relacionados à velocidade de 0,4 m/s e ao maior números de portas (20) para todos os casos simulados.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para o espaçamento entre portas. As distâncias horizontais da fonte foram maiores para casos com espaçamento de 10 m, porem os valores extremos de distancia ocorreram com espaçamento de 5 metros. Nesta analise continua clara a grande influencia da velocidade da corrente no processo modelado (resultado) analisado. O painel inferior direito mostra a distância horizontal da fonte pela velocidade da corrente para a direção das portas. A influência da direção das portas na distância horizontal da fonte é nula e os resultados deste painel são definidos pela velocidade da corrente.

Em todas estas análises o parâmetro ambiental velocidade da corrente governa a distância horizontal da fonte, juntamente com os parâmetros número de portas, espaçamento entra as portas e em menor significância o diâmetro das portas. Se comparado ao UM3, boa parte destes resultados fornecidos pelo NRFIELD são similares, no entanto o modelo NRFIELD a distâncias horizontais percorridas pela pluma tem maior magnitude.

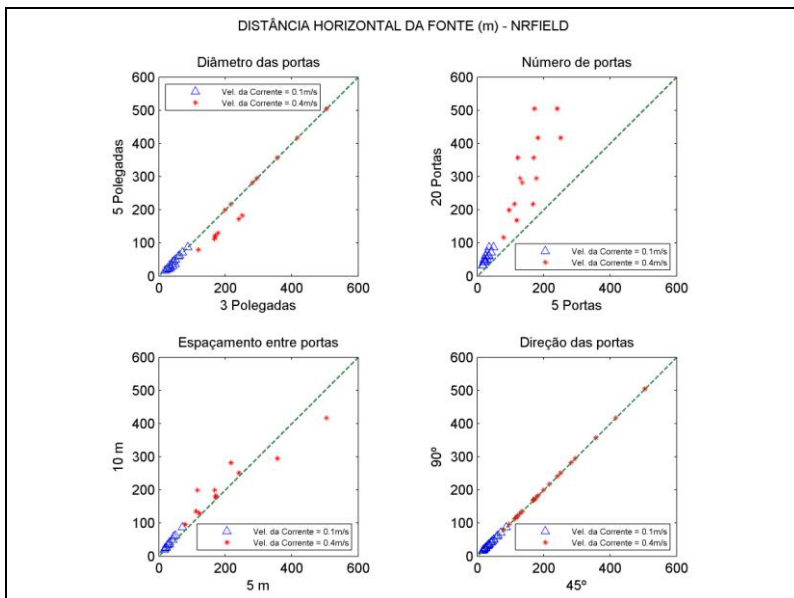


Figura 4.27- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da velocidade da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

A Figura 4.28 mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela direção da corrente para o diâmetro de porta do difusor. Para ambas as direções de corrente o diâmetro da porta exerceu pouca influência na distância horizontal calculada pelo NRFIELD. Os maiores valores de distância horizontal, para ambas as direções de corrente, não foram influenciados pelo diâmetro de porta, mas alguns resultados se concentraram no lado do diâmetro de 3 polegadas (também para ambas as direções). Novamente o NRFIELD apresentou sensibilidade a este parâmetro de emissário em relação à distância horizontal da fonte. O painel superior direito mostra a grande influência do número de portas na distância horizontal da fonte, refletindo em maiores valores relacionados a 20 portas para todos os casos. A direção parece ter responsabilidade neste processo, porém de maneira não direta, ou seja, combinada a outros parâmetros.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela direção da corrente para o espaçamento entre portas. As distâncias horizontais da fonte foram maiores para casos com espaçamento de 10 m, porém os valores extremos de distância

ocorreram com espaçamento de 5 metros para ambas as direções (45° e 90°). O painel inferior direito mostra a distância horizontal da fonte pela direção da corrente para a direção das portas. A influência da direção das portas na distância horizontal da fonte é nula.

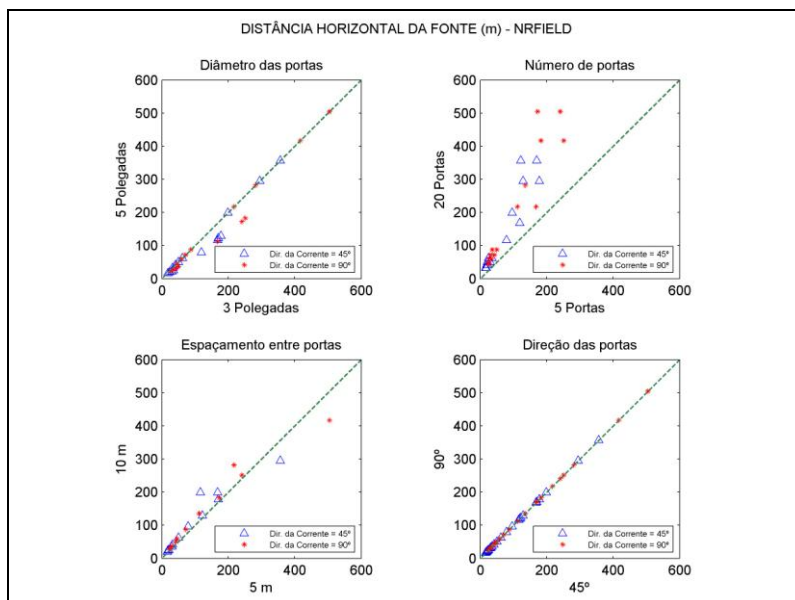


Figura 4.28- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da direção da corrente e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

A Figura 4.29 mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela profundidade para o diâmetro de porta do difusor. Para ambas as profundidades o diâmetro da porta exerceu pouca influência na distância horizontal calculada pelo NRFIELD. Os maiores valores de distância horizontal, para ambas as profundidades, não foram influenciados pelo diâmetro de porta, mas alguns resultados se concentraram no lado do diâmetro de 3 polegadas (também para ambas as profundidades). Novamente o NRFIELD apresentou sensibilidade a este parâmetro de emissário em relação à distância horizontal da fonte. O painel superior direito mostra a grande influência do número de portas na distância horizontal da fonte, refletindo em maiores valores relacionados a 20 portas para todos os casos. Para profundidade de 18m maiores os valores da distância horizontal da fonte.

O painel inferior esquerdo mostra o resultado da distância horizontal da fonte pela profundidade para o espaçamento entre portas. As distâncias horizontais da fonte foram maiores para casos com espaçamento de 10 m, porém os valores extremos de distância ocorreram, novamente, com espaçamento de 5 metros para profundidade igual a 18 m. O painel inferior direito mostra a distância horizontal da fonte pela profundidade para a direção das portas. A influência da direção das portas na distância horizontal da fonte é nula.

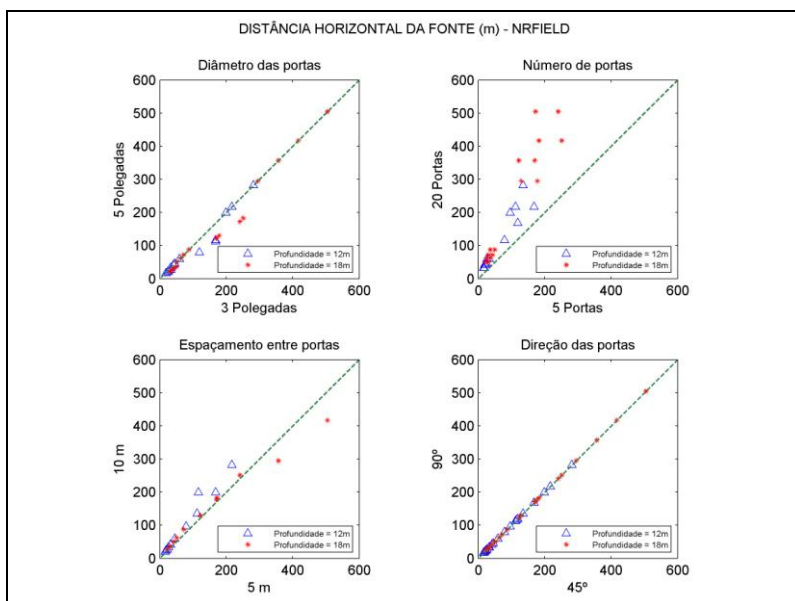


Figura 4.29- Resultado da distância horizontal da fonte pela variação da profundidade e parâmetros do emissário para o modelo NRFIELD.

A Figura 4.30 representa a discussão sobre os resultados da distância horizontal da fonte, onde se pode ver os resultados de todos os casos simulados pelo UM3 e pelo NRFIELD.

De forma geral, a faixa de valores encontrada para a distância horizontal da fonte nas simulações com o modelo UM3 foi inferior a do NRFIELD. O UM3 apresentou uma distancia máxima da fonte de 209,80 metros, enquanto que o NRFIELD apresentou esse valor máximo igual a 504,50 metros. Para os valores mínimos, o UM3 apresentou 10 metros e o NRFIELD 16,19 metros.

Observa-se que os resultados para distância horizontal da fonte aumentam a partir do caso 65 (Figura 4.30). Ao relacionarmos esse comportamento com os casos (APÊNDICE A) confirma-se que o parâmetro que mais está influenciando nos resultados é a mudança do parâmetro velocidade da corrente de 0,1m/s para 0,4 m/s.

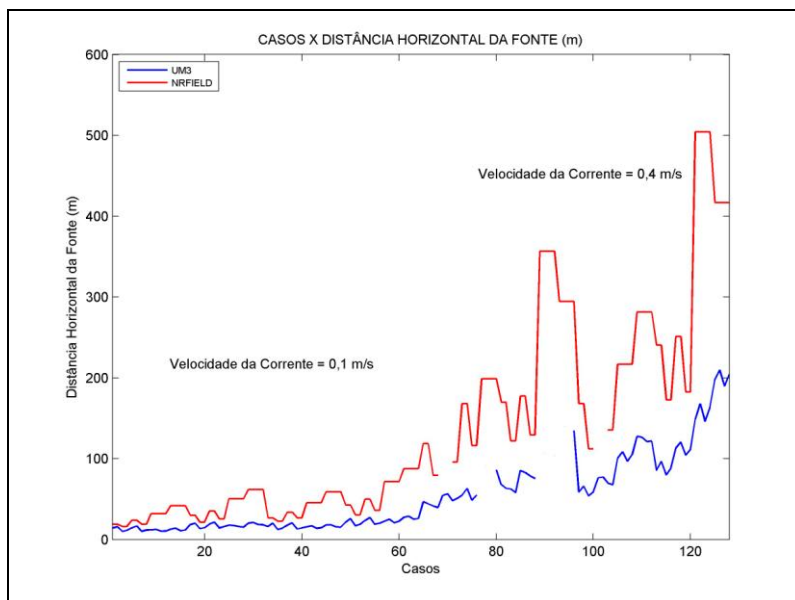


Figura 4.30– Distância horizontal da fonte para todos os casos simulados com UM3 e NRFIELD.

As Figuras 4.31 e 4.32 mostram os parâmetros variáveis do ambiente e do emissário respectivamente, por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte simulada pelo modelo UM3. Na Figura 4.31 pode-se notar a grande influência da variação de velocidade da corrente, seguida da profundidade. Já na Figura 4.32 observa-se que os parâmetros do emissário número de portas e espaçamento entre as portas exercem influência nos resultados da distância horizontal da fonte.

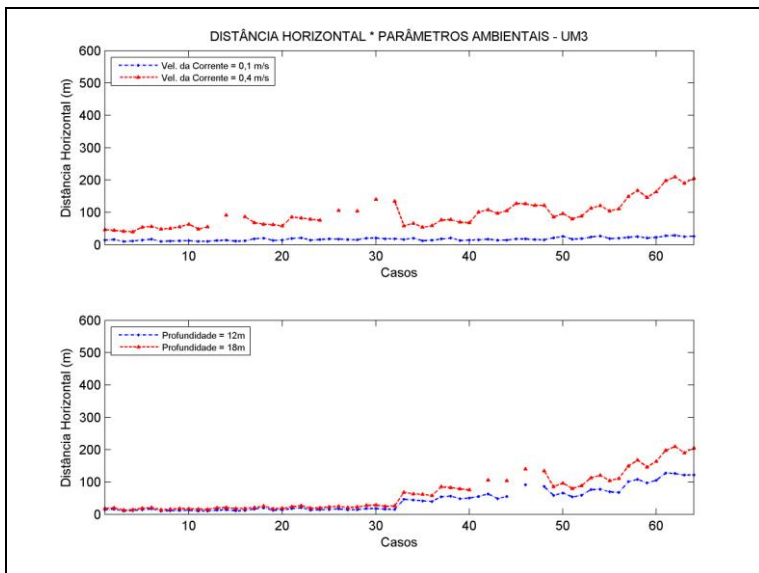


Figura 4.31- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo UM3.

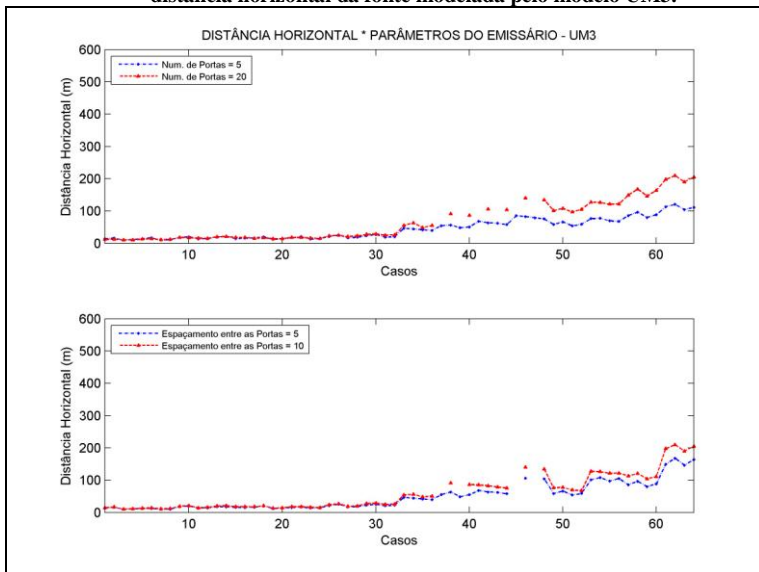


Figura 4.32- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo UM3

As Figuras 4.33 e 4.34 mostram os parâmetros variáveis do ambiente e do emissário respectivamente, por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte simulada pelo modelo NRFIELD. Em concordância com o UM3, pode-se notar a grande influência da variação de velocidade da corrente, seguida da profundidade na distância horizontal da fonte calculada pelo NRFIELD. Pela Figura 4.34 observa-se que além dos parâmetros número de portas e espaçamento entre as portas, diâmetro das portas, simulados no NRFIELD, também mostrou uma pequena influência nos resultados da distância horizontal da fonte.

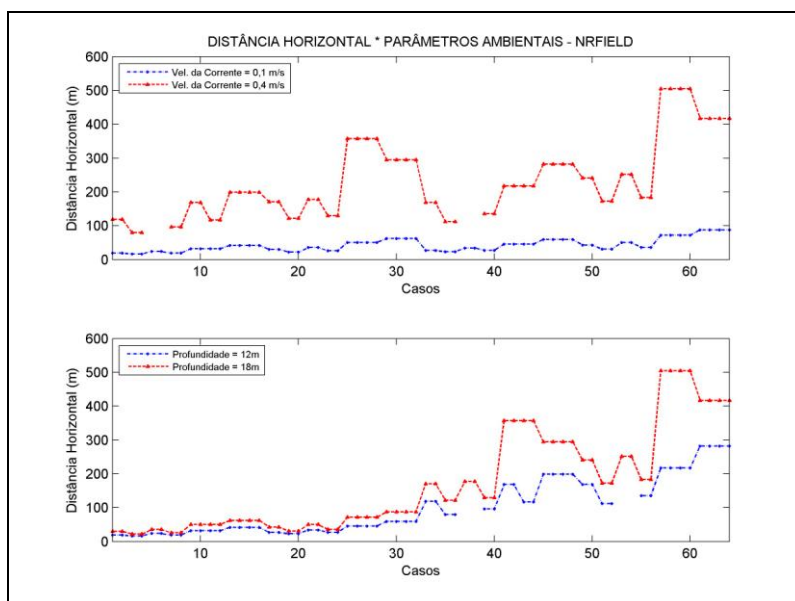


Figura 4.33- Parâmetros variáveis do ambiente por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo NRFIELD.

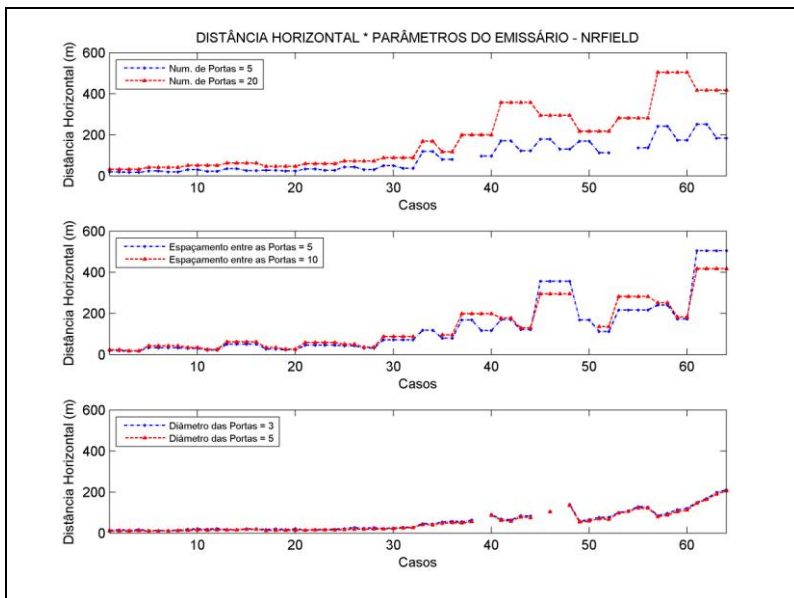


Figura 4.34- Parâmetros variáveis do emissário por ordem de maior influência na distância horizontal da fonte modelada pelo modelo NRFIELD

Contudo, é importante analisar que ao comparar as Figuras 4.31 e 4.33, percebe-se que a mudança do parâmetro velocidade da corrente no modelo NRFIELD provoca alterações de maior escala nos resultados da distância horizontal da fonte que no modelo UM3.

4.4Aplicação

Para realizar a aplicação no emissário de Maceió, o modelo escolhido foi o UM3. Esta escolha foi devido ao fato do UM3 ter se mostrado mais sensível a alguns parâmetros de configuração de emissário, principalmente na previsão do diâmetro da pluma. Além disso este modelo é “nativo” da plataforma *Visual Plumes*, apresentando resultados consistentes nas comparações dos casos hipotéticos nos item anterior deste trabalho. A modelagem desta aplicação é hipotética como os outros casos estudados neste trabalho. Os resultados foram instantâneos, ou seja, não considerou variação dos parâmetros de entrada ao longo do tempo.

Os resultados fornecidos pelo *Visual Plumes* utilizando o modelo UM3 encontram-se nas Tabela 4.4 e Figura 4.35. O diâmetro da pluma atingiu o valor máximo de 428 polegadas ou 10,9 metros. A diluição máxima no campo próximo encontrada para este emissário foi de 141 que representa um valor adequado para projetos de emissários submarinos. A distância horizontal da fonte máxima foi de 9,3 metros.

Tabela 4.4 – Resultados da aplicação no emissário submarino de Maceió-AL

RESULTADOS	VALOR
Diâmetro da pluma	428 polegadas ou 10,9 metros
Diluição	141
Distância horizontal da fonte	9,3 metros

Na Figura 4.35 o gráfico *Plume Elevation* (elevação da pluma) representa a trajetória da pluma ao longo da coluna d'água no campo próximo. O gráfico *Ambient Properties* (propriedades do ambiente) mostra que a medida que o efluente vai se misturando no ambiente, a densidade dele (pontos vermelhos) vai aumentando até se equilibrar com a densidade da água do mar (linha contínua) que é quando acaba o fluxos de massa devido ao empuxo. No gráfico *Plan View* exibe como que a trajetória da pluma, que é vista em planta, sofre influência da corrente norte para o sul. E, para finalizar, o gráfico *Plumes Dilution Prediction* (previsão da diluição da pluma) mostra como que a diluição aumenta na medida em que se afasta da fonte.

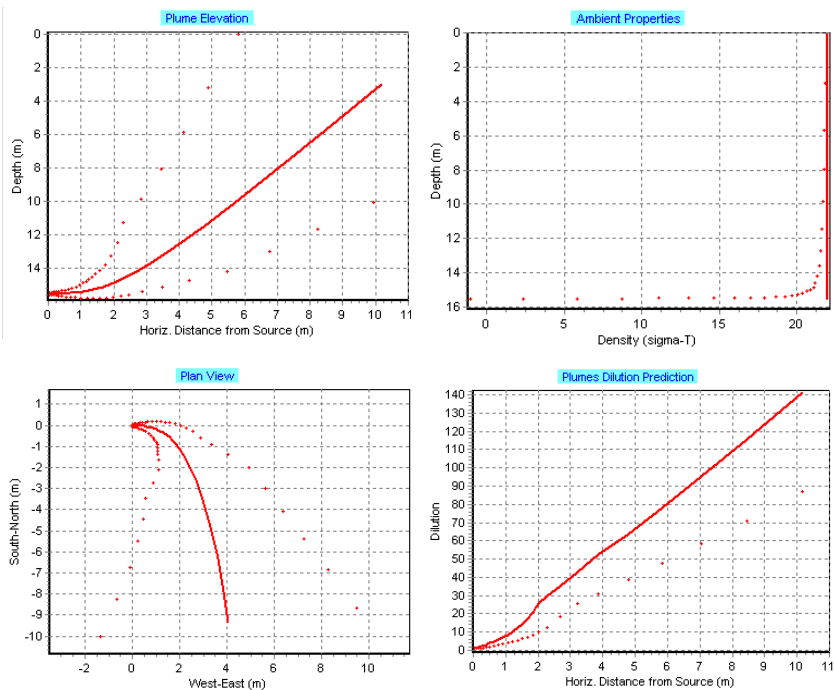


Figura 4.35-Resultados gráficos do estudo de caso de Maceió-AL

5 CONCLUSÕES

O *software Visual plumes* se mostrou uma importante e acessível ferramenta para analisar a dispersão no campo próximo de efluentes oriundos de um emissário submarino, permitindo além da análise de casos a comparação dos resultados entre os modelos.

Os erros encontrados nas simulações dos casos hipotéticos aconteceram devido a incompatibilidades físicas dos parâmetros de entrada, provavelmente a velocidade da corrente de 0,4 m/s foi muito intensa em relação a uma pequena vazão do emissário adotada (0,154 m³/s).

Nos resultados do diâmetro da pluma o modelo NRFIELD apresentou resultados maiores para a maior parte das simulações em comparação com o modelo UM3. Nos resultados da diluição da pluma o UM3 apresentou valores maiores que o NRFIELD em todos os casos. Nos resultados para distância horizontal da fonte o NRFIELD apresentou resultados maiores, em comparação com o modelo UM3, em todos os casos.

As conclusões para os resultados gerais dos dois modelos para (i) diâmetro da pluma, (ii) diluição e (iii) distância horizontal da fonte foram as seguintes:

(i) O diâmetro da pluma é fortemente influenciado pela profundidade do emissário. Quanto maior a profundidade, maior será o diâmetro da pluma. O UM3 mostra que parâmetros como a velocidade das correntes, diâmetro das portas, espaçamento entre portas e número de portas influem secundariamente nesta ordem. Outro fator que influencia fortemente o diâmetro da pluma é a combinação dos parâmetros direção da corrente e orientação das portas. Quando a direção da corrente possui um sentido diferente da orientação das portas o valor para os resultados do diâmetro da pluma são maiores, que quando esses dois parâmetros possuem o mesmo sentido. Nos resultados do diâmetro da pluma o modelo O NRFIELD se mostrou insensível para a variação dos parâmetros do emissário.

(ii) A diluição da pluma foi influenciada pelos parâmetros espaçamento entre as portas e número de portas. Quanto maiores esses parâmetros, valores mais altos da diluição são obtidos. Pois quanto mais distantes as plumas que são ejetadas de cada porta estão, menor a probabilidade de interação destas, aumentando assim a área de contato entre essas plumas e a água do mar, o que facilita a diluição. A

velocidade da corrente é outro parâmetro que está influenciando secundariamente a diluição, pois maiores velocidades de corrente facilitam o processo de mistura hidrodinâmica, que aumentam a diluição. Nos resultados fornecidos pelo UM3, o diâmetro das portas menor favorece a diluição das plumas (menor diâmetro, maior velocidade de saída do difusor para uma mesma vazão). No entanto, para o NRFIELD os resultados da diluição são insensíveis a variação do parâmetro diâmetro das portas.

(iii) A distância horizontal da fonte é influenciada principalmente pelo parâmetro Velocidade da corrente. Para maiores valores do parâmetro velocidade da corrente, maiores serão os resultados da distância horizontal da fonte. No modelo UM3, além da velocidade da corrente, os parâmetros profundidade, número de portas e espaçamento entre as portas influenciam secundariamente os resultados da distância horizontal da fonte. Para o NRFIELD, além desses parâmetros citados acima, o diâmetro das portas influencia um pouco.

A Tabela 5.1 sintetiza as conclusões descritas acima. O “X” marcado na célula indica o parâmetro que mais influenciou nos resultados obtidos. O “O” marcado na célula indica os parâmetros que são importantes, mas não são os governantes para cada resultado. As células marcadas da mesma cor numa coluna indicam que a junção desses dois parâmetros influenciou significativamente no resultado.

Tabela 5.1- Influência dos parâmetros nos resultados fornecidos pelos modelos UM3 e NRFIELD

Parâmetros que indicaram uma significativa variação nos resultados obtidos	Diâmetro da pluma		Diluição		Distância Horizontal da fonte	
	UM3	NRFIELD	UM3	NRFIELD	UM3	NRFIELD
Velocidade da Corrente	O	O	O	O	X	X
Direção da Corrente						
Profundidade	X	X			O	O
Número de Portas	O		X	X	O	O
Espaçamento entre as Portas	O		X	X	O	O
Diâmetro das Portas	O		O			O
Orientação das Portas						

No estudo de caso para o emissário submarino de Maceió-AL os resultados obtidos apontaram para um bom funcionamento deste sistema de disposição oceânica de esgotos sanitários. O diâmetro da pluma atingiu o valor máximo de 428,2 polegadas ou 10,87 metros. A diluição máxima no campo próximo encontrada para este emissário foi de 141,3, que representa um valor adequado para projetos de emissários submarinos. A distância horizontal da fonte máxima foi de 9,326 metros.

Este trabalho limitou-se a utilizar dois modelos de dispersão no campo próximo, para avaliar qualitativamente as respostas destes dois modelos as mudanças dos parâmetros de entrada. Um próximo passo seria associar os resultados obtidos pelos modelos (UM3 e NRFIELD) com as particularidades da formulação de cada um desses modelos. Para isto, deve ser feito um estudo minucioso das equações implementadas nos códigos do UM3 e NRFIELD. E, desta forma, obter um melhor entendimento das respostas destes modelos as mudanças dos parâmetros de entrada.

Contudo, o contínuo entendimento e aprimoramento dos modelos de dispersão de plumas de esgotos sanitários em emissários submarinos são importantes, pois a modelagem computacional da dispersão da pluma de esgoto tem um papel fundamental nos projetos e na tomada de decisões nos processos de licenciamento ambiental dos emissários.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUMGARTNER, D., W. FRICK, P. ROBERTS., **Dilution Models for Effluent Discharges - 3rd Edition**, Newport, Oregon: USEPA - United States Environmental Protection Agency, 1994.

BLENINGER T., **Coupled 3D Hydrodynamic Models for Submarine Outfalls: Environmental Hydraulic Design and Control of Multiport Diffusers**. 2006. 218 f. Tese de doutoramento, Universidade de Karlsruhe, Alemanha, 2006.

CARTER, R.W.G., **Costal Environments. An Introduction to the physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines**. London: Academic, 1988. 617p.

CARVALHO, J.L.B., ROBERTS, P.J.W, ROLDÃO, J., Field observations of Ipanema Beach Outfall. **Journal of Hydraulic Engineering**, ASCE, v.128, n.2, p. 151-160. 2002.

CARVALHO, J.L.B., **Modelagem e análise do lançamento de efluentes através de emissários submarinos**. 2003. 173 f. Tese de doutoramento, Departamento de engenharia Oceânica, COOPE/UFRJ, 2003.

CASAL. Companhia de saneamento de Alagoas. <www.casal.al.gov.br> Acesso em 12 de dezembro de 2009.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de monitoramento de emissários submarinos**. São Paulo, 2007. 106p. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 23 de setembro de 2009

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005.

DAVIS L.R., **Fundamentals of Environmental Discharge Modeling**. Boca Raton-FL: CRC Press, 1999.

FEITOSA, R.C., **Acoplamento de modelos de campo próximo e campo afastado com cinética de decaimento bacteriano variável – Aplicações em emissários submarinos**. 2007. 190 f. Tese de doutoramento, Departamento de engenharia Oceânica, COOPE/UFRJ, 2007.

FEITOSA, R. C., ROSMAN P. C. C., ROQUE O. C. C., ASSUMPÇÃO R. F., **Modelagem computacional dos emissários submarinos de esgotos do rio vermelho e Jaguaribe (Salvador-BA) através do acoplamento de modelos de campo próximo, decaimento bacteriano e campo afastado**. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife-PE. **Anais...** Recife-PE: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009

FORTIS, R. M., **Modelagem computacional da dispersão da pluma dos efluentes dos emissários submarinos do TEBAR-Petrobrás**. 2005. 181 f. Dissertação de mestrado, Departamento de engenharia Civil, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

FRICK, W. E., ROBERTS, P.J.W., DAVIS, L. R., KEYES, J., BAUMGARTNER, D. J., GEORGE, K. P., **Dilution Models for Effluent Discharges-4th Edition (*Visual plumes*)**. Athens, Georgia: USEPA - United States Environmental Protection Agency, 2003.

GONÇALVES, F. B.; SOUZA, A.P., **Disposição Oceânica de Esgotos Sanitários- História, teoria e prática**. Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. 348 p.

JIRKA, G. H., DONEKER, R. L., HINTON, S. W. **User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters**. Ithaca, New York: U.S. Environmental Protection Agency, 1996. 152 p.

KOMAR, P. D., **Beach processes and Sedimentation**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1998.

LAMPARELLI, C. C.; ORTIZ, J. P. **Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento.** São Paulo: Imprensa Oficial do estado de São Paulo, 2006. 240 p.

Ludwig, R. G., **Environmental Impact Assessment: Siting and design of submarine outfalls.** Monitoring and Assessment Research Centre and World Health Organization, London, 1988, 63p.

ORTIZ, J. P., ARASAKI, E., MARCELLINO, E. B., DA SILVA, O. F., FORTIS, R. M., Modelagem Aplicada à Simulação do Escoamento da Pluma de Efluentes de Emissários Submarinos no Litoral Paulista , **In: Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento.** São Paulo: Imprensa Oficial do estado de São Paulo, p.25-42. 2006.

ROBERTS, P.J.W., Line Plume and Ocean Outfall Dispersion. **Journal of Hydraulics Engineering**, ASCE, v.104, p. 313-331. 1979.

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J., Ocean Outfall I: Submerged Wastefield Formation. **Journal of Hydraulics Engineering**, ASCE, v. 115, n. 1, p.1-25. 1989 (I).

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J., Ocean Outfall II: Spatial Evolution of Submerged Wastefield. **Journal of Hydraulics Engineering**, ASCE, v. 115, n. 1, p. 26-48. 1989 (II).

ROBERTS, P.J.W., SNYDER, W.H., BAUMGARTNER, D.J., Ocean Outfall III: Effect of Diffuser Design on Submerged Wastefield. **Journal of Hydraulics Engineering**, ASCE, v. 115, n. 1, p. 49-70. 1989 (III).

ROBERTS, P.J.W., 1996. “**Jets and Plumes and Ocean Outfall Design.**” **Recent research advances in the fluid mechanics of turbulent jets and plumes.** Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic, 1996.

ROBERTS, P.J.W., Modeling Mamala Bay Outfall Plumes. I: Near Field. **Journal of Hydraulics Engineering**, ASCE, v. 115, n. 1, p. 26-48. 1999.

ROBERTS, P. J. W., HUNT, C. D., MICKELSON, M. J. (2002). Field and model studies of the Boston outfall. Proc., 2nd Int. Conf. on Marine Waste Water Discharges, MWWD2002, Istanbul, Turkey.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Water Quality Models and Tools. Disponível em: <<http://www.epa.gov/waterscience/models.html>> . Acesso em: 15 de setembro de 2009.

YANG, L., CHANG, W., HUANG, M. L., Natural disinfection of wastewater in marine outfall fields. **Water. Research**, v.34, p. 743-750. 2000.

APÊNDICE A

Estabelece segundo os fluxograma (Figura 3.5) cada caso com a combinação dos parâmetros possíveis de serem variados. As cores servem para distinguir melhor as variações desses parâmetros.

CASOS	PARÂMETROS							RESULTADOS					
	Vel. Corr. [m/s]	Dir. Corr. [°]	Prof. [m]	Num. Port. [un]	Esp. Port. [m]	Dia. Port. [pol]	Orit. Port. [°]	DIÂMETRO [m]		DILUIÇÃO		DISTÂNCIA. HORIZONTAL [m]	
								UM3	NREIFIELD	UM3	NREIFIELD	UM3	NREIFIELD
1	0,1	45	12	5	5	3	45	9,67	11,10	240,20	69,00	14,24	18,95
2	0,1	45	12	5	5	3	90	12,23	11,10	245,00	64,00	15,87	18,95
3	0,1	45	12	5	5	5	45	8,37	11,10	193,20	59,00	10,00	16,19
4	0,1	45	12	5	5	5	90	10,38	11,10	193,20	55,00	11,26	16,19
5	0,1	45	12	5	10	3	45	9,11	11,10	304,60	128,00	14,51	23,90
6	0,1	45	12	5	10	3	90	12,30	11,10	386,30	115,00	16,72	23,90
7	0,1	45	12	5	10	5	45	7,96	11,10	226,30	102,00	10,11	19,02
8	0,1	45	12	5	10	5	90	9,98	11,10	287,10	91,00	11,71	19,02
9	0,1	45	12	20	5	3	45	9,72	11,10	686,00	396,00	11,97	32,24
10	0,1	45	12	20	5	3	90	11,14	11,10	597,20	332,00	12,33	32,24
11	0,1	45	12	20	5	5	45	9,30	11,10	645,70	395,00	10,28	32,24
12	0,1	45	12	20	5	5	90	10,47	11,10	551,80	332,00	10,49	32,24
13	0,1	45	12	20	10	3	45	9,05	11,10	905,20	745,00	12,74	41,86
14	0,1	45	12	20	10	3	90	10,52	11,10	979,80	610,00	14,06	41,86
15	0,1	45	12	20	10	5	45	8,63	11,10	818,90	745,00	10,83	41,86
16	0,1	45	12	20	10	5	90	9,62	11,10	870,10	610,00	11,78	41,86
17	0,1	45	18	5	5	3	45	14,26	16,50	349,90	110,00	18,29	30,26
18	0,1	45	18	5	5	3	90	17,75	16,50	343,10	102,00	20,11	30,26
19	0,1	45	18	5	5	5	45	12,77	16,50	298,70	78,00	13,44	21,64
20	0,1	45	18	5	5	5	90	14,95	16,50	275,90	73,00	14,60	21,64
21	0,1	45	18	5	10	3	45	13,60	16,50	530,30	189,00	19,23	35,28
22	0,1	45	18	5	10	3	90	17,53	16,50	551,80	170,00	21,35	35,28
23	0,1	45	18	5	10	5	45	12,18	16,50	443,80	136,00	14,24	25,46
24	0,1	45	18	5	10	5	90	15,15	16,50	452,60	123,00	15,99	25,46
25	0,1	45	18	20	5	3	45	15,32	16,50	1103,40	620,00	17,68	50,63
26	0,1	45	18	20	5	3	90	16,53	16,50	887,50	521,00	17,34	50,63
27	0,1	45	18	20	5	5	45	14,84	16,50	1059,30	620,00	15,96	50,63
28	0,1	45	18	20	5	5	90	15,76	16,50	836,30	521,00	15,32	50,63
29	0,1	45	18	20	10	3	45	14,03	16,50	1774,80	1103,00	20,31	61,94
30	0,1	45	18	20	10	3	90	16,15	16,50	1576,00	903,00	20,86	61,94
31	0,1	45	18	20	10	5	45	13,64	16,50	1703,90	1103,00	18,45	61,94
32	0,1	45	18	20	10	5	90	15,11	16,50	1456,00	903,00	18,33	61,94
33	0,1	90	12	5	5	3	45	12,23	11,10	245,00	64,00	16,18	26,80
34	0,1	90	12	5	5	3	90	9,67	11,10	240,20	69,00	20,14	26,80
35	0,1	90	12	5	5	5	45	10,38	11,10	193,20	55,00	12,37	22,90
36	0,1	90	12	5	5	5	90	8,37	11,10	193,20	59,00	14,15	22,90
37	0,1	90	12	5	10	3	45	12,30	11,10	386,30	115,00	17,59	33,80
38	0,1	90	12	5	10	3	90	9,11	11,10	304,60	128,00	20,53	33,80
39	0,1	90	12	5	10	5	45	9,98	11,10	287,10	91,00	13,08	26,90
40	0,1	90	12	5	10	5	90	7,96	11,10	226,30	102,00	14,30	26,90
41	0,1	90	12	20	5	3	45	11,14	11,10	597,20	332,00	15,58	45,60
42	0,1	90	12	20	5	3	90	9,72	11,10	686,00	395,00	16,93	45,60
43	0,1	90	12	20	5	5	45	10,47	11,10	551,80	332,00	13,90	45,60
44	0,1	90	12	20	5	5	90	9,30	11,10	645,70	395,00	14,54	45,60
45	0,1	90	12	20	10	3	45	10,52	11,10	979,80	610,00	18,05	59,20
46	0,1	90	12	20	10	3	90	9,05	11,10	905,20	745,00	18,02	59,20
47	0,1	90	12	20	10	5	45	9,62	11,10	870,10	610,00	15,72	59,20
48	0,1	90	12	20	10	5	90	8,63	11,10	818,90	745,00	15,32	59,20
49	0,1	90	18	5	5	3	45	17,75	16,50	343,10	102,00	21,46	42,80
50	0,1	90	18	5	5	3	90	14,26	16,50	349,90	110,00	25,87	42,80
51	0,1	90	18	5	5	5	45	14,95	16,50	275,90	73,00	16,79	30,60
52	0,1	90	18	5	5	5	90	12,77	16,50	298,70	78,00	19,00	30,60
53	0,1	90	18	5	10	3	45	17,53	16,50	551,80	170,00	23,60	49,90
54	0,1	90	18	5	10	3	90	13,60	16,50	530,30	189,00	27,20	49,90
55	0,1	90	18	5	10	5	45	15,15	16,50	452,60	123,00	18,88	36,00
56	0,1	90	18	5	10	5	90	12,18	16,50	443,80	136,00	20,14	36,00
57	0,1	90	18	20	5	3	45	16,53	16,50	887,50	521,00	22,56	71,60
58	0,1	90	18	20	5	3	90	15,32	16,50	1103,40	620,00	25,14	71,60
59	0,1	90	18	20	5	5	45	15,76	16,50	836,30	521,00	20,69	71,60
60	0,1	90	18	20	5	5	90	14,84	16,50	1059,30	620,00	22,58	71,60
61	0,1	90	18	20	10	3	45	16,15	16,50	1576,00	903,00	27,58	87,60
62	0,1	90	18	20	10	3	90	14,03	16,50	1774,80	1103,00	28,72	87,60
63	0,1	90	18	20	10	5	45	15,11	16,50	1456,00	903,00	24,96	87,60
64	0,1	90	18	20	10	5	90	13,64	16,50	1703,90	1103,00	26,09	87,60

CASOS	PARÂMETROS							RESULTADOS					
	Vel. Corr. [m/s]	Dir. Corr. [°]	Prof. [m]	Num. Port. [un]	Esp. Port. [m]	Dia. Port. [pol]	Orit. Port. [°]	DIÂMETRO [m]		DILUIÇÃO		DISTÂNCIA. HORIZONTAL [m]	
								UM3	NREIFLD	UM3	NREIFLD	UM3	NREIFLD
65	0,4	45	12	5	5	3	45	11,98	11,90	788,00	260,00	46,65	118,90
66	0,4	45	12	5	5	3	90	14,25	11,90	686,00	204,00	44,14	118,90
67	0,4	45	12	5	5	5	45	11,26	11,90	728,00	174,00	41,53	79,41
68	0,4	45	12	5	5	5	90	12,93	11,90	609,20	136,00	39,59	79,41
69	0,4	45	12	5	10	3	45	10,98	-	1218,30	-	54,60	-
70	0,4	45	12	5	10	3	90	13,43	-	1218,30	-	56,57	-
71	0,4	45	12	5	10	5	45	10,27	11,90	1081,80	302,00	47,90	95,88
72	0,4	45	12	5	10	5	90	12,21	11,90	1081,80	232,00	50,79	95,88
73	0,4	45	12	20	5	3	45	10,95	11,90	1242,70	762,00	54,89	168,20
74	0,4	45	12	20	5	3	90	12,88	11,90	1705,90	575,00	63,18	168,20
75	0,4	45	12	20	5	5	45	10,36	11,90	1103,40	527,00	48,51	116,40
76	0,4	45	12	20	5	5	90	11,57	11,90	1372,00	398,00	54,84	116,40
77	0,4	45	12	20	10	3	45	-	11,90	-	1969,00	-	199,10
78	0,4	45	12	20	10	3	90	11,29	11,90	3918,80	1432,00	91,11	199,10
79	0,4	45	12	20	10	5	45	-	11,90	-	1969,00	-	199,10
80	0,4	45	12	20	10	5	90	10,74	11,90	3692,80	1432,00	86,05	199,10
81	0,4	45	18	5	5	3	45	17,95	17,60	1194,40	372,00	68,30	170,10
82	0,4	45	18	5	5	3	90	20,83	17,60	999,40	292,00	63,39	170,10
83	0,4	45	18	5	5	5	45	17,09	17,60	1125,50	267,00	62,42	122,10
84	0,4	45	18	5	5	5	90	19,15	17,60	905,20	210,00	58,05	122,10
85	0,4	45	18	5	10	3	45	16,68	17,60	2079,50	560,00	85,31	177,80
86	0,4	45	18	5	10	3	90	19,49	17,60	1810,30	431,00	82,87	177,80
87	0,4	45	18	5	10	5	45	15,92	17,60	1959,50	407,00	78,74	129,30
88	0,4	45	18	5	10	5	90	17,88	17,60	1639,60	313,00	75,27	129,30
89	0,4	45	18	20	5	3	45	-	17,60	-	2464,00	-	356,70
90	0,4	45	18	20	5	3	90	17,92	17,60	3344,70	1822,00	106,20	356,70
91	0,4	45	18	20	5	5	45	-	17,60	-	2464,00	-	356,70
92	0,4	45	18	20	5	5	90	17,59	17,60	3279,10	1822,00	103,70	356,70
93	0,4	45	18	20	10	3	45	-	17,60	-	2914,00	-	294,70
94	0,4	45	18	20	10	3	90	17,01	17,60	6179,60	2120,00	140,30	294,70
95	0,4	45	18	20	10	5	45	-	17,60	-	2914,00	-	294,70
96	0,4	45	18	20	10	5	90	16,40	17,60	5939,60	2120,00	134,70	294,70
97	0,4	90	12	5	5	3	45	14,25	11,90	686,00	204,00	58,63	168,20
98	0,4	90	12	5	5	3	90	11,98	11,90	788,00	260,00	65,97	168,20
99	0,4	90	12	5	5	5	45	12,93	11,90	609,20	136,00	53,95	112,30
100	0,4	90	12	5	5	5	90	11,26	11,90	728,00	174,00	58,73	112,30
101	0,4	90	12	5	10	3	45	13,43	-	1218,30	-	76,31	-
102	0,4	90	12	5	10	3	90	10,98	-	1218,30	-	77,21	-
103	0,4	90	12	5	10	5	45	12,21	11,90	1081,80	232,00	69,79	135,60
104	0,4	90	12	5	10	5	90	10,27	11,90	1081,80	302,00	67,74	135,60
105	0,4	90	12	20	5	3	45	12,15	11,90	2250,90	784,00	100,70	217,10
106	0,4	90	12	20	5	3	90	10,96	11,90	2798,70	1060,00	108,40	217,10
107	0,4	90	12	20	5	5	45	11,71	11,90	2163,50	784,00	96,78	217,10
108	0,4	90	12	20	5	5	90	10,77	11,90	2743,80	1060,00	105,20	217,10
109	0,4	90	12	20	10	3	45	11,29	11,90	3918,80	1432,00	127,80	281,60
110	0,4	90	12	20	10	3	90	10,09	11,90	4158,70	1969,00	126,50	281,60
111	0,4	90	12	20	10	5	45	10,74	11,90	3692,80	1432,00	121,20	281,60
112	0,4	90	12	20	10	5	90	9,89	11,90	3997,20	1969,00	121,70	281,60
113	0,4	90	18	5	5	3	45	20,83	17,60	999,40	292,00	85,48	240,60
114	0,4	90	18	5	5	3	90	17,95	17,60	1194,40	372,00	96,59	240,60
115	0,4	90	18	5	5	5	45	19,15	17,60	905,20	210,00	79,92	172,70
116	0,4	90	18	5	5	5	90	17,09	17,60	1125,50	267,00	88,27	172,70
117	0,4	90	18	5	10	3	45	19,49	17,60	1810,30	431,00	113,20	251,40
118	0,4	90	18	5	10	3	90	16,68	17,60	2079,50	560,00	120,60	251,40
119	0,4	90	18	5	10	5	45	17,88	17,60	1639,60	313,00	104,30	182,80
120	0,4	90	18	5	10	5	90	15,92	17,60	1959,50	407,00	111,40	182,80
121	0,4	90	18	20	5	3	45	17,92	17,60	3344,70	1822,00	149,10	504,50
122	0,4	90	18	20	5	3	90	16,89	17,60	4413,20	2464,00	168,00	504,50
123	0,4	90	18	20	5	5	45	17,59	17,60	3279,10	1822,00	146,10	504,50
124	0,4	90	18	20	5	5	90	16,58	17,60	4326,70	2464,00	163,50	504,50
125	0,4	90	18	20	10	3	45	17,01	17,60	6179,60	2120,00	197,40	416,80
126	0,4	90	18	20	10	3	90	15,45	17,60	7532,80	2914,00	209,80	416,80
127	0,4	90	18	20	10	5	45	16,40	17,60	5939,60	2120,00	189,90	416,80
128	0,4	90	18	20	10	5	90	15,20	17,60	7385,10	2914,00	204,90	416,80